ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

Effect of Feeding Cassava Pulp on Growth Performance of Nursery Pigs

นามผู้วิจัย นางสาววริยา โกสุม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

Effect of Feeding Cassava Pulp on Growth Performance of Nursery Pigs

โดย

นางสาววริยา โกสุม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2552

วริยา โกสุม 2552: ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 76 หน้า

การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันจำนวน 5 แห่งในเขตภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์ทรายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 365 กรัมต่อลิตร และ 2.16 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) ที่ 12.11 และ 47.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของไขมันและโปรตีนในสุกรเล็กเท่ากับ 76.48 และ 66.20 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า %CV เท่ากับ 6.68 และ 9.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรเล็กเท่ากับ 2,461.34 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีค่า %CV ที่ 4.75 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราชนิดต่างๆ ในกากมันสำปะหลังจากทุกโรงงาน ค่าเฉลี่ยของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ แป้ง เท่ากับ 2.37, 0.39, 14.00 และ 50.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า %CV เท่ากับ 32.91, 38.46, 7.71 และ 4.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยไซยาไนด์เท่ากับ 4.17 ส่วนต่อล้านส่วน และมีค่า %CV สูงถึง 167 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบลักษณะความแปรปรวนในลักษณะต่างๆ ผันแปรตามสถานที่ปลูกและกรรมวิธีในการผลิต

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิตโดยการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสุกรระยะอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตาย โดยใช้สุกรสามสายพันธุ์ (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรช) จำนวน 192 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว จากการศึกษาพบว่า ปริมาณอาหารที่กินต่อวันของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลัง ที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ตลอดการทดลอง (สุกรอายุ 4-9 สัปดาห์) มีค่าเท่ากับ 684.6, 662.7, 659.0, และ 653.9 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาล มีค่าเท่ากับ 375.6, 360.1, 361.3 และ 353.5 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรอนุบาล มีค่าเท่ากับ 1.83, 1.84, 1.83 และ 1.86 ตามลำดับ สมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาลในทุกกลุ่มทดลองแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้ไม่พบการตายของลูกสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ตลอดการทดลอง ดังนั้นกากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประกอบสูตรอาหารสุกรอนุบาล ได้ถึงระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตและอัตราการตาย

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wariya Kosoom 2009: Effect of Feeding Cassava Pulp on Growth Performance of Nursery Pigs. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Seksom Attamangkune, Ph.D. 76 pages.

Two experiments were conducted in order to study the effect of feeding cassava pulp on growth performance of nursery pigs. The first experiment was carried out to determine the physical, chemical and biological properties of cassava pulp samples from 5 starch factories in the East and Northeast of Thailand. The results showed the average density value and percentage of sand contaminated in cassava pulp samples which were 365 g/L and 2.16 % with the coefficient of variation (%CV) of 12.11 and 47.69 %, respectively. The average fat and protein digestibility in young pigs were 76.48 and 66.20 % with 6.68 and 9.13 %CV respectively. The ME values of cassava pulp were 2461.34 Kcal/kg with 4.75 %CV in young pigs. None of mycotoxin was detected in all cassava pulp samples. The average protein, fat, fiber, and starch contents were 2.37, 0.39, 14.00 and 50.19 % with 32.91, 38.46, 7.71 and 4.78 %CV, respectively. The average cyanide content in all samples was 4.17 ppm with 167 %CV. The results from this study showed the degrees of variation in physical, chemical, and biological properties of cassava pulp. These variations depended upon the difference in plant's location and processing.

In the second experiment, cassava pulp at the levels of 0, 5, 10 and 15 % were incorporated in nursery rations in order to determine the piglet performance during 4-9 WOA. One hundred and ninety two 3-crosses way (D x LW x LR) piglets were randomly assigned to 4 dietary treatments with 6 replications (8 piglets per replication). Piglets subjected to diets containing cassava pulp at the levels of 0, 5, 10, and 15 % had 684.6, 662.7, 659.0 and 653.9 g/d of average daily feed intake, respectively. The average daily body weight gains were 375.6, 360.1, 361.3 and 353.5 g/d and the feed conversion ratio were 1.83, 1.84, 1.83 and 1.86, respectively. None of piglets was found death in each dietary treatment. No significant differences among dietary treatments were found in these parameters studied. It was concluded that cassava pulp can be incorporated in nursery diets up to 15% without any detrimental effects to piglet performance.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาตมางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรประพันธ์ ส่งเสริม ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุวเรศ เรืองพานิช และอาจารย์ ดร. สุกัญญา รัตนทับทิมทอง กรรมการวิชาเอก ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ สมภาร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณด้านการทดลอง ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยทับกวาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. แก่งคอย จ. สระบุรี ที่สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการผลิตอาหารสัตว์ และสถานที่ศึกษาการย่อยได้ในสุกร ตลอดจนบริษัท ไบโอ-เจน ฟีดมิลล์ จำกัด และไบโอ-เจน ฟาร์ม อ. เมือง จ. ลำพูน ที่สนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการผลิตอาหารสัตว์ และสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมความช่วยเหลือแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลอันเป็นที่รักยิ่ง คือ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจ คำปรึกษา ความห่วงใย และส่งเสริมการศึกษาของข้าพเจ้าด้วยดีมาตลอด และขอบคุณกำลังใจและความช่วยเหลือทั้งหมดจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาสัตวบาล เจ้าหน้าที่ธุรการ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ทำให้การศึกษาครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

วริยา โกสุม

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	65
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังแบ่งตามอุตสาหกรรมภายในประเทศ	9
2	คุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลัง	13
3	การเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ	14
4	ค่าพลังงานของกากมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงาน	15
5	ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง	18
6	ส่วนประกอบในอาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 25 กิโลกรัม) สูตรควบคุม	27
7	ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลอายุ 4-7 สัปดาห์	31
8	ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลอายุ 7-9 สัปดาห์	33
9	ค่าความหนาแน่นและปริมาณทรายในกากมันสำปะหลัง	37
10	น้ำตาลในส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง	38
11	ลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	40
12	องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากมันสำปะหลัง	41
13	สารพิษจากเชื้อราในกากมันสำปะหลัง	43
14	การย่อยได้ปรากฏของไขมันและโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง	44
15	ผลของการวิเคราะห์อาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับต่างๆ	47
16	สมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล (อายุ 4-9 สัปดาห์)	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	12
2	การสลายตัวของสารพิษลินามาริน และลอทอสตราลิน	17

ภาพผนวกที่

1	ตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากโรงงานต่างๆ	74
2	ศึกษาการย่อยได้ปรากฏ โดยกรงเมแทบอลิก	75
3	ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล	75

ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

Effect of Feeding Cassava Pulp on Growth Performance of Nursery Pigs

คำนำ

ในการผลิตสุกรในปัจจุบัน พบว่าเกษตรกรมักประสบปัญหาต้นทุนการผลิตสูงขึ้นจนบางครั้งสูงกว่าราคาสุกรที่ขายได้ ต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่นั้นคือต้นทุนจากอาหารประมาณ 70-80% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด และการลดต้นทุนจากอาหารนั้นสามารถกระทำได้โดยการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ มาประกอบสูตรอาหารให้ได้อาหารที่มีราคาถูก และทำให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่ดี สำหรับประเทศไทยวัตถุดิบหลักที่ใช้เลี้ยงสุกรในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นข้าวโพด 49.69% กากถั่วเหลือง 9.08% ปลายข้าว 6.12% และปลาป่น 2.49% ของวัตถุดิบอาหารทั้งหมด (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์, 2546) ซึ่งจะเห็นว่าข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลักที่มีความต้องการใช้มากเป็นอันดับหนึ่ง อีกทั้งราคาข้าวโพดปรับราคาสูงขึ้นจากกิโลกรัมละ 5.50 บาท ขึ้นมากิโลกรัมละ 9.85-9.95 บาทต่อกิโลกรัม (กุมภาพันธ์ 2551) เนื่องจากทั่วโลกมีการใช้วัตถุดิบที่เป็นอาหารสัตว์ไปผลิตพืชพลังงานทดแทน ข้าวโพดจึงถูกนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลกันมากขึ้น โดยประเทศไทยสามารถผลิตข้าวโพดได้ปีละประมาณ 4 ล้านตัน ส่วนหนึ่งถูกส่งออกและส่วนหนึ่งใช้ในประเทศ ประกอบกับพื้นที่ปลูกข้าวโพดในประเทศไทยไม่ได้เพิ่มขึ้น (เสกสม, 2550) จึงส่งผลกระทบถึงความต้องการข้าวโพดมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อราคาที่เพิ่มสูงขึ้นตามมาอีกด้วย ดังนั้นการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใหม่ที่มีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีศักยภาพดีมาทดแทนข้าวโพด จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารพลังงานได้

กากมันสำปะหลัง เป็นวัสดุเหลือใช้ จากกระบวนการเอามันสำปะหลังไปสกัดเป็นแป้งมันสำปะหลัง มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงถึง 50% ความชื้นประมาณ 80% เยื่อใย 14.22% ไขมัน 1% โดยประมาณ แต่มีโปรตีนอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก จึงมักขายในราคาที่ถูกเพื่อนำไปผสมในอาหารสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งของพลังงาน โดยแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตหัวมันสดประมาณปีละ 22-26 ล้านตัน (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2550) จัดเป็นผู้ผลิตอันดับที่ห้าของโลก ประมาณ 20% ของมันสำปะหลังที่ผลิตได้ในประเทศไทยนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลัง และส่งออก

แป้งมันสำปะหลังถึงปีละ 1.1 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 3.3 ของปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550)

นอกจากประโยชน์ทางโภชนะแล้ว ในกากมันสำปะหลัง ถึงแม้จะมีกรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) ในปริมาณมาก แต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนเป็นไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ซึ่งมีพิษน้อยลง จะถูกขับออกมากับสิ่งคัดหลั่ง และไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ (อรอนงค์ และคณะ, 2549) อีกทั้งกากมันสำปะหลังมีฤทธิ์ช่วยลดความเครียด สร้างภูมิคุ้มกันได้ดีขึ้น สัตว์ป่วยน้อยลง (อุทัย, 2550) และที่สำคัญมันสำปะหลังมีการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราน้อยมาก หรือไม่มีการปนเปื้อนเลย นอกจากนี้ถ้าหากนำกากมันสำปะหลังมาใช้เลี้ยงสุกรได้ดีจะเป็นผลพลอยได้อีกชนิดหนึ่งในหลายๆ ชนิดที่จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตสุกรได้

อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังในการประกอบสูตรอาหารอาจมีข้อจำกัด เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีลักษณะฟ่าม เบา และมีปริมาณเยื่อใยอยู่สูง (สาโรช, 2547) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรและสัตว์ปีกหากใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของกากมันสำปะหลังในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และ ชีวภาพ ของกากมันสำปะหลังจากแหล่งต่างๆ

2. ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับมันสำปะหลังภายในประเทศ

ในระยะหลายปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมเกี่ยวกับมันสำปะหลังในประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความต้องการของตลาดโลกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญเป็นอันดับสองรองจากข้าวของไทย (สาโรช, 2547) ต้องผูกพันอยู่ภายใต้ข้อตกลงว่าด้วยความร่วมมือเกี่ยวกับการผลิต การตลาด และการค้ามันสำปะหลังต้องรักษาอำนาจการแข่งขัน (นิรนาม, 2547) สาระสำคัญในข้อตกลงเป็นการกำหนดปริมาณการนำเข้ามันสำปะหลังของไทยในประชาคมเศรษฐกิจยุโรปในจำนวนที่แน่นอนทุกปี มีผลให้รูปแบบการค้าซึ่งเดิมเป็นลักษณะการค้าเสรี ถูกควบคุมให้ส่งออกได้ในปริมาณและรูปแบบที่รัฐบาลกำหนดเป็นรายปีทุกๆปี โดยต้องขออนุญาตส่งออกทุกครั้ง ซึ่งในปี พ.ศ.2548 ตั้งแต่เดือน มกราคม-เมษายน จะพิจารณาอนุญาตให้ส่งออกตามปริมาณผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่อยู่ในครอบครองของผู้ส่งออก (กรมการค้าต่างประเทศ, 2547) ซึ่งทำให้เกษตรกรหันมาปลูกมันสำปะหลังมากยิ่งขึ้นเพื่อการส่งออก อุตสาหกรรมการแปรรูปมันสำปะหลังจึงเกิดขึ้นมากมาย โดยหาวิธีการแปรรูปมันสำปะหลังเป็นสินค้าที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น อาหารมนุษย์ อาหารเสริมในสัตว์ น้ำตาล และอื่นๆ

1.1 ประวัติความเป็นมาของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz ในอดีตมันสำปะหลังมีชื่อเดิมว่า *Manihot utilissima* Pohl แต่ในปัจจุบันไม่นิยมใช้กัน มีชื่อสามัญหลายชื่อด้วยกัน คือ cassava, tapioca, yuca, mandioca และ manioc เป็นต้น มันสำปะหลังเป็นไม้ยืนต้นและเป็นพืชเมืองร้อน ทรงพุ่ม ขนาดความสูง 1–4 เมตร สามารถจัดหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้ (เจริญศักดิ์, 2532)

Genus	Manihot
Family	Euphorbiaceae
Subdivision	Agiospermae
Class	Dicotyledonae
Order	Geraniales

มันสำปะหลังไม่ใช่พืชดั้งเดิมของประเทศไทย แต่มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมที่แถบอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ในระยะหลังชาวโปรตุเกสได้มีการนำมันสำปะหลังเข้าไปปลูกอย่างแพร่หลายในทวีปอาฟริกาก่อนทวีปอื่นๆ และชาวเมืองก็ได้ใช้มันสำปะหลังเป็นอาหาร จากนั้นจึงขยายการปลูกไปยังทวีปเอเชียและภูมิภาคอื่นๆ จนปัจจุบันนี้มีประเทศที่ปลูกมันสำปะหลังมากกว่า 90 ประเทศ และกระจายอยู่ในทวีปต่างๆ การปลูกเป็นการค้าใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักลงไปในดิน เกษตรกรมักเก็บหัวของพืชชนิดนี้เมื่อมีอายุประมาณ 1 ปี พันธุ์มันสำปะหลังที่นิยมปลูกในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

1) ชนิดหวาน เป็นมันสำปะหลังที่ใช้เพื่อการบริโภค มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขม สามารถใช้หัวสดทำอาหารได้โดยตรง เช่น นำไปนึ่ง เชื่อม หรือทอด ซึ่งได้แก่ พันธุ์ห้านาที พันธุ์ระยอง 2 เป็นต้น

2) ชนิดขม เป็นมันสำปะหลังที่มีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง มีความเป็นพิษต่อร่างกาย ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ดหรือมันเส้นแล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ระยอง 1, พันธุ์ระยอง 3, พันธุ์ระยอง 5, พันธุ์ระยอง 60, พันธุ์ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้น

1.2 คุณลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ตากแห้งมีลักษณะฟ่ามเบา และเมื่อถูกบดป่นก็จะเป็นฝุ่นฟุ้งก่อความระคายเคืองแก่นัยน์ตา และระบบทางเดินหายใจของสัตว์ ทำให้อาหารมีความหนาแน่นต่ำและความน่ากินลดลง สัตว์ไม่ชอบกิน และเนื่องจากความจุของกระเพาะอาหารจำกัดจึงอาจได้รับโภชนะจากอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีตามปกติได้ (สาโรช, 2547; Jordan, 1983)เซลลูโลสจากเยื่อใยในมันสำปะหลังที่บดละเอียดจะกระตุ้นให้กระเพาะอาหารหลั่งกรดเกลือ และน้ำย่อยเปปซิน (pepsin) ออกมามาก เมื่อสะสมมากขึ้นจะก่อให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และแสดงอาการท้องเสียโดยเฉพาะเกิดขึ้นกับสุกรในช่วงเปลี่ยนอาหารที่ได้รับอาหารตามปกติเป็นอาหารมันสำปะหลัง (Oke, 1978) และการที่สุกรได้รับมันสำปะหลังสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร จะทำให้เกิดการหมัก (fermentation) ของแป้งมันสำปะหลังในกระเพาะอาหารได้กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid) ปริมาณมาก แต่มีประโยชน์ต่อสุกรน้อยมาก เนื่องจากการดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ (พิพัฒน์ และวิศิษฐิพร, 2549) การปรับปรุงแก้ไข

ลักษณะทางกายภาพของมันสำปะหลังทำได้หลายวิธี แต่มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ การอัดเม็ดทำให้ความหนาแน่นของอาหารเพิ่มขึ้น ความร้อนในระหว่างการอัดเม็ดทำให้แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะสุก (gelatinization) และทำลายจุลินทรีย์ที่ปะปนมาระหว่างการตากแห้ง แต่วิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง การเสริมด้วยกากน้ำตาลและไขมัน ทั้งสองวิธีนี้สามารถเพิ่มความหนาแน่นและความน่ากินของอาหารและช่วยปรับระดับพลังงานในอาหารให้สูงขึ้น แต่มีขั้นตอนและวิธีที่ยุ่งยากในการผสมอาหารและอาจมีปัญหาเรื่องการเหม็นหืนของอาหาร (สาโรช และเยาวมาลย์, 2531) การแก้ไขลักษณะทางกายภาพของอาหารมันสำปะหลังอีกวิธีหนึ่งที่สะดวกและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดคือ การให้อาหารแบบเปียก โดยผสมอาหารกับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1-1.50 แต่วิธีนี้ก็มีข้อเสียเช่นกันกล่าวคือ อาจมีปัญหาเรื่องการบูดเน่าและมีเชื้อราเกิดขึ้นเนื่องจากอาหารเหลือตกค้างมากและใช้แรงงานในการเลี้ยงสูงขึ้น (สาโรช, 2547)

1.3 ลักษณะเด่นของมันสำปะหลัง

คุณสมบัติข้อได้เปรียบของการผลิตเมื่อเทียบกับพืชไร่อื่นๆ แล้วมันสำปะหลังมีข้อดีหลายอย่างพอสรุปได้ดังนี้ (เจริญศักดิ์, 2532 และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547)

1) เวลาปลูกไม่จำกัดแน่นอน ปลูกง่าย และสะดวกในการดูแลรักษา

2) ให้ผลผลิตเป็นที่พอใจในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

3) สามารถทนแล้งได้ดี

4) ให้ผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับพืชไร่ชนิดอื่นมีสาเหตุมาจาก

4.1) เป็นพืชหัว มีโครงสร้างได้เปรียบพืชชนิดอื่นเพราะส่วนของหัวอยู่ใต้ดิน ไม่ต้องมีอวัยวะคอยค้ำหรือพยุงผลผลิตจึงเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ ไม่มีข้อจำกัด

4.2) ระยะเวลาที่สะสมวัตถุแห้ง (dry matter) ผลผลิตในธัญพืชและถั่วมีช่วงเวลาที่จำกัด (25 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาเพาะปลูกทั้งหมด) แต่มันสำปะหลังไม่จำกัด โดยจะเริ่มลงหัว

หลังจากปลูกไปแล้วประมาณ 2 เดือน และจะสะสมผลผลิตไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว (อายุประมาณ 12 เดือน)

4.3) สัดส่วนของวัตถุแห้งที่เป็นผลผลิตนั้นสูง และมีโปรตีนในรากต่ำเนื่องจากมีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูง (ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ น้ำหนักผลผลิตต่อน้ำหนักทั้งต้น) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.45-0.75 หรือมีผลผลิต 45-75 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักทั้งต้น ส่วนพวกธัญพืช (ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี) จะมีค่าประมาณ 0.30-0.40 หรือมีผลผลิต 30-40 เปอร์เซ็นต์

5) เวลาที่เก็บเกี่ยวไม่จำกัด เมื่อลงหัวได้ผลผลิตแล้วสามารถเก็บเกี่ยวเมื่อใดก็ได้แล้วแต่สะดวก

6) โรคและแมลงศัตรูน้อย

1.4 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีประโยชน์ดังนี้ (เจริญศักดิ์, 2532)

1.4.1 เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของมนุษย์ มันสำปะหลังนอกจากจะปลูกง่ายกว่าพืชชนิดอื่นแล้วยังให้แคลอรี่มากกว่าด้วย การที่สามารถให้แคลอรี่ได้มากกว่าพืชชนิดอื่นคือ เมื่อคิดเทียบราคากับแคลอรี่ที่ได้รับจะมีต้นทุนที่ถูกกว่าพืชชนิดอื่นมาก ดังนั้นมันสำปะหลังจึงถูกนำไปใช้ในการบริโภคโดยตรง เพื่อเป็นอาหารของประชาชนในประเทศที่กำลังพัฒนาที่อดอยาก หิวโหย ในเอเชีย อาฟริกา ลาตินอเมริกา และบทบาทของมันสำปะหลังที่จะให้แคลอรี่แก่ประชาชนในภูมิภาค ดังกล่าวนับวันจะเพิ่มมากขึ้น

1.4.2 ใช้ทำแป้ง แป้งที่ผลิตจากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ทดแทนกับแป้งที่ผลิตได้จากพืชหัวชนิดอื่น รวมทั้งแป้งที่ได้จากข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ฯลฯ ได้อย่างสมบูรณ์ แป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ได้ 2 ทางหลัก คือ

- Native starch นำไปประกอบอาหารได้แก่ การทำซอส ผงชูรส กลูโคส และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ต่างๆ ฯลฯ

- Modified starch นำไปใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเภสัชกรรม อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมไม้อัด ฯลฯ

1.4.3 ใช้ทำอาหารสัตว์ หัวมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตมาก ราคาไม่แพง จึงเหมาะที่จะใช้ประกอบอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังเป็นตัวลดต้นทุนด้วย

1.4.4 อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์ มันสำปะหลังมีส่วนประกอบของแป้งอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านกระบวนการเคมีหรือกระบวนการทางชีววิทยาจะสลายตัวกลายเป็นน้ำตาล น้ำตาลที่ได้นี้สามารถนำไปผลิตเป็นแอลกอฮอล์

1.5 ข้อดีของมันสำปะหลังในการนำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์

แป้งในมันสำปะหลังเป็นแป้งที่อ่อนจึงย่อยได้ง่าย สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ อีกทั้งมันสำปะหลังที่แนะนำให้ใช้ในการทำอาหารสัตว์ คือ มันเส้นที่ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังมาหั่นหรือสับเป็นชิ้นๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้ง 3-4 แดด มันเส้นคุณภาพดีจะต้องไม่มีรากเหง้าและต้นมันติดปนมาหรือติดมาน้อยมาก ซึ่งจะทำให้มันเส้นมีระดับเยื่อใยไม่มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นระดับต่ำ เหมาะแก่การใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ลักษณะที่ดีอีกประการหนึ่ง คือ ไม่มีปัญหาเรื่องสารพิษจากเชื้อราหรือสารขัดขวางโภชนะที่จะเป็นอันตรายต่อสัตว์ แม้ว่าในมันสำปะหลังจะมีสารพิษ คือ กรดไฮโดรไซยานิค แต่ในระหว่างการทำมันเส้นมีการผึ่งแดดทำให้กรดดังกล่าวระเหยออกสู่บรรยากาศ หากสามารถตากมันเส้นได้ถึง 3-4 แดด ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 30 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์เลย ยิ่งเก็บมันเส้นไว้ระยะเวลาหนึ่งปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคจะยิ่งลดลง นอกจากนี้มันสำปะหลังหรือมันเส้นที่ผลิตทั่วไปในประเทศไทยจะมีเชื้อราขึ้นบนชิ้นมันบ้าง แต่จากการวิเคราะห์พบว่าเชื้อราเหล่านั้นไม่มีการสร้างอะฟลาทอกซินและจากการใช้มันเส้นเลี้ยงสัตว์ในระยะเวลาที่ผ่านมายังพบว่าสัตว์ที่กินอาหารมันสำปะหลังเจ็บป่วยหรือตายเนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินน้อย จึงถือว่ามันเส้นที่ผึ่งแดดแห้งอย่างดีไม่มีสารพิษหรือสารขัดขวางโภชนะต่อสัตว์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดซึ่งมักมีสารอะฟลาทอกซินปนเปื้อน ซึ่งสารชนิดนี้ถูกทำลายได้ยาก มันสำปะหลังจึงมีข้อได้เปรียบในการใช้ทดแทนธัญพืชได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งยังช่วยลดกลิ่นเหม็นจากมูลสุกร และไม่มีการตัดต่อทางพันธุกรรม ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์อีกด้วย (กานดา และคณะ, 2546; อุทัย และสุกัญญา, 2547)

2. อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทยได้ทำการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2549/50 พบว่าประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกมันสำปะหลังรวม 48 จังหวัด คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกราว 7 ล้านไร่ และมีผลผลิตรวมกว่า 20 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาร้อยละ 3.30 (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2550) โดยมีปริมาณการใช้ภายในประเทศออกสู่ตลาดน้อยลงประมาณ 4.64 ล้านตัน แยกเป็นมันเส้น/มันอัดเม็ด 9.45 ล้านตัน และแป้งมัน 3.69 ล้านตัน ส่วนปริมาณการส่งออกมีจำนวน 11.98 ล้านตัน โดยส่งออกในรูปมันเส้น/มันเส้นอัดเม็ด 5.92 ล้านตัน และส่งออกในรูปแป้งมัน 6.06 ล้านตัน ซึ่ง 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลผลิตจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ส่วนการใช้แป้งมันสำปะหลังแบ่งตามอุตสาหกรรมภายในประเทศ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังแบ่งตามอุตสาหกรรมภายในประเทศ

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณการใช้ (ตัน)	เปอร์เซ็นต์
บริโภคในครัวเรือน	153,645	12.97
ผงชูรส/ไลซีน	322,194	27.20
สารให้ความหวาน	177,490	14.98
กระดาษ	159,879	13.50
อาหาร	57,195	4.83
สาคู	62,295	5.26
สิ่งทอ	22,722	1.92
ไม้อัด	2,010	0.17
อื่นๆ	227,023	19.17
รวม	1,184,453	100

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547)

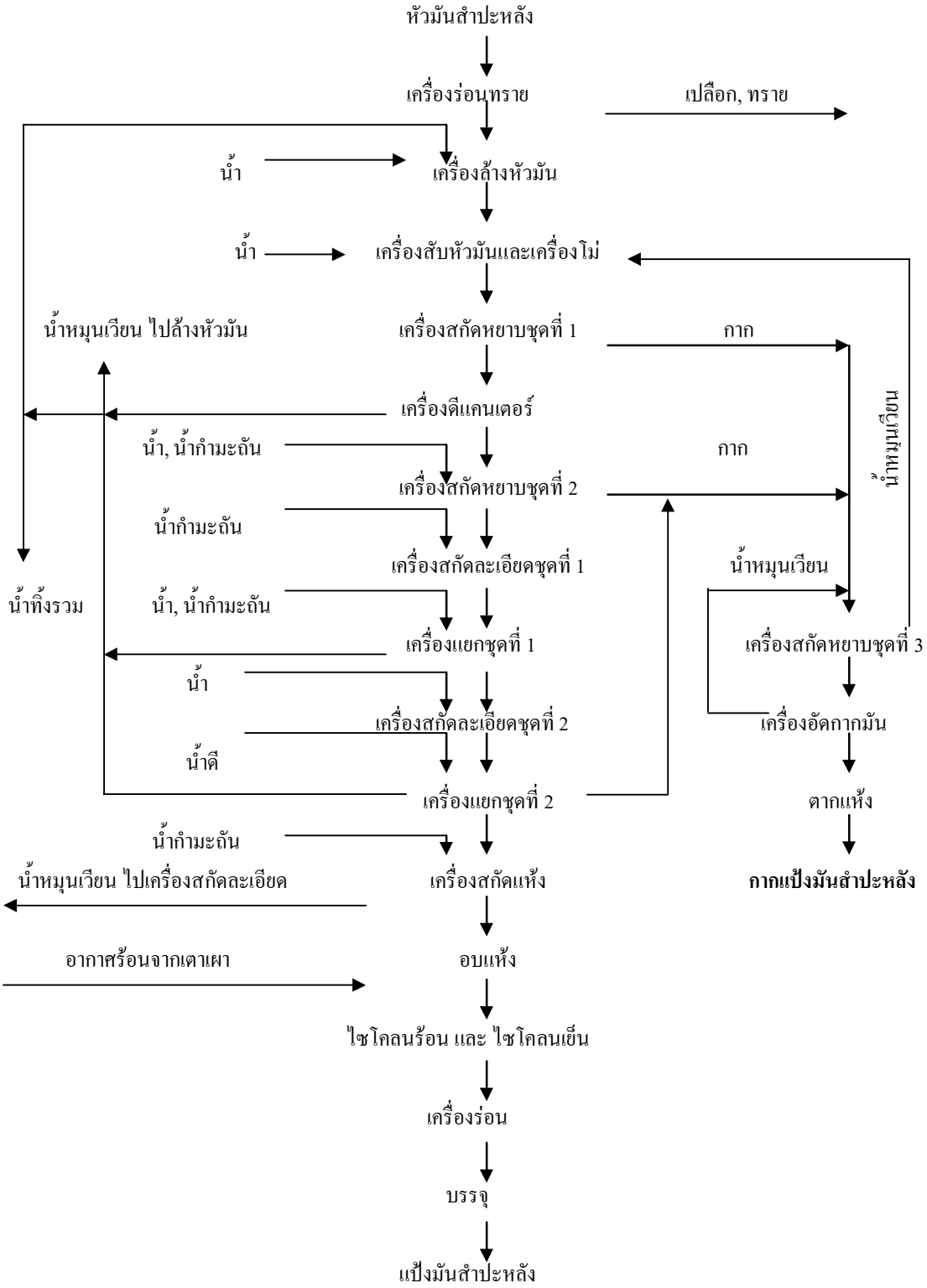
3. กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสลัดแห้งเป็นกระบวนการผลิตแบบใหม่และเป็นกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่โรงงานโดยทั่วไปใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ในกระบวนการผลิตเริ่มต้นด้วยการเตรียมวัตถุดิบ โดยหัวมันสำปะหลังจะถูกลำเลียงผ่านระบบสายพานไปสู่เครื่องร่อนดินทราย (sand removal dram) เพื่อแยกดินทรายและเศษเปลือกหรือรากไม้ที่ปนออกมาจากหัวมันสำปะหลัง จากนั้นหัวมันจะถูกล้าง (root washer) โดยผ่านเครื่องล้างหัวมันและถูกลำเลียงด้วยสายพานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน หัวมันที่มีขนาดเล็กลงจะผ่านท่อลงสู่เครื่องโม่ มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งที่มีใบมีดขนาดเล็กจำนวนมาก ในระหว่างโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้การโม่ทำได้สะดวกขึ้น โดยมากน้ำที่ใช้เป็นน้ำหมุนเวียนเพื่อประหยัดน้ำและลดการสูญเสียแป้งไปกับน้ำทิ้ง ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์เพื่อแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง โดยอาศัยหลักของแรงหนีศูนย์กลาง ส่วนแป้ง เส้นใย และกากจะถูกเหวี่ยงแยกออกเป็นน้ำแป้งความเข้มข้นสูง ซึ่งบางโรงงานอาจไม่ใช้เครื่องนี้ดังนั้นน้ำแป้งที่ได้จากเครื่องโม่จะเข้าหน่วยสกัดแป้งเลย น้ำแป้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (หรือเครื่องโม่สำหรับโรงงานที่ไม่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์) จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งเพื่อแยกน้ำแป้งออกจากกากและเส้นใย โดยน้ำแป้งจะผ่านเข้าสู่ชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก เพื่อแยกเอากากมันสำปะหลังออกจากน้ำแป้งแล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียด โดยอาศัยแรงเหวี่ยงในการสกัดทำให้กากและเส้นใยติดอยู่บนแผ่นกรอง จากนั้นจะถูกใบมีดของเครื่องปาดเข้าสู่เครื่องอัดกากมันเพื่อรีดน้ำออก เพื่อเป็นอาหารสัตว์ต่อไป (กล้าณรงค์, 2542)

สำหรับน้ำแป้งที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นใยและกาก ผ่านแผ่นกรองไปรวมกันด้านล่างและถูกทำให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียดที่มีเป็นชุดๆ จากนั้นน้ำแป้งจะถูกทำให้บริสุทธิ์ และเข้มข้นขึ้นโดยเครื่องแยกแป้ง สารคอลลอยด์จะถูกแยกออกจากน้ำแป้ง ในขณะเดียวกันจะใช้น้ำสะอาดป้อนเข้าไปแทนสิ่งเจือปนในน้ำแป้ง สิ่งเจือปนในน้ำแป้งจะถูกแยกเหวี่ยงและไหลขึ้นด้านบนของเครื่อง น้ำแป้งที่เข้มข้นกว่าจะไหลออกด้านล่าง ในโรงงานมักใช้เครื่องแยกแป้ง 2 ชุด เพื่อให้ได้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูง ส่วนน้ำทิ้งที่ได้จากเครื่องนี้จะถูกหมุนเวียนนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงาน น้ำแป้งจะถูกลดความชื้นด้วยเครื่องสลัดแห้งซึ่งเป็นเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งเข้มข้น ได้เป็นแป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส ในหน่วยอบแป้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนร้อน ทำให้แป้งมีความชื้นลดลงตาม

ต้องการ แล้วถูกดูดเข้าสู่เครื่องไซโคลนเย็นอีกชุดหนึ่ง แล้วผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งได้เป็นแป้งละเอียดเพื่อนำไปบรรจุถุงต่อไป (กล้าณรงค์, 2542) ดังภาพที่ 1

ผลจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง กากมันสำปะหลังจากโรงงานจะกลายเป็นวัสดุเหลือใช้ในปริมาณมากถึง 2.03 ล้านตันต่อปี (พิพัฒน์ และวิศิษฐิพร, 2549) หากไม่มีการนำกากมันสำปะหลังที่เหลือนี้มาใช้ประโยชน์ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิ มลพิษทางอากาศจากกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง รวมทั้งการซึมปนเปื้อนของน้ำเสียจากลานตากกากมันสำปะหลังสู่พื้นดินบริเวณใกล้เคียง แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์ในที่สุด



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

4. คุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสด (fresh cassava) เป็นส่วนของรากที่โตขึ้นที่มีการสะสมแป้ง หัวมันสดมีน้ำอยู่ประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ และมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่เป็นแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตประมาณ 20-35 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำ ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลังได้มีการรายงานไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลัง / แหล่งอ้างอิง	ลักษณะทางเคมี (%)					
	ความชื้น	แป้ง	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า
ชวนิศนดากร (2500)	13.03	76.45	1.77	0.18	8.20	1.36
ทวี (2522)	-	-	-	0.70	4.60	-
จิราภรณ์ (2525)	9.25	59.77	-	-	-	-
กระทรวงอุตสาหกรรม (2540)	-	56.00	5.30	0.10	35.90	2.70
ปิตุนาต (2547)	7.40	-	2.60	0.20	6.60	3.80
สุกัญญา และวราพันธุ์ (2550)	11.27	45-50	1.83	0.48	10-15	3.64
Lim (1967)	10.00	64.60	1.80	0.20	5.00	18.40
Pinuliar (1993)	-	81.91	1.03	0.20	4.60	1.22
Sriroth *et al*. (1999)	-	50.60	-	-	-	-
Preston (2002)	-	-	2.00	0.80	-	-
Nitipot and Sommart (2003)	-	-	1.64	-	-	1.79
Tesfa (2006)	-	56.00	5.30	-	35.90	-
Teerapatr *et al*. (2006)	80.13	65.37	2.05	0.15	13.17	2.01

อย่างไรก็ตามพบว่ากากมันสำปะหลังมีลักษณะทางเคมีผันแปรแตกต่างกันมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพหัวมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ สายพันธุ์มันสำปะหลัง สภาพของมันสำปะหลัง สถานที่ปลูก อายุการเก็บเกี่ยว ความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาวะการเพาะปลูก เช่น ช่วงเวลาการเพาะปลูก ปริมาณน้ำฝน และกรรมวิธีการสกัดแป้ง มีผลต่อลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลัง (เจริญศักดิ์, 2532)

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ คือ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว พบว่า กากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว แต่พบว่าวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว เมื่อดูค่าเยื่อใย ได้แก่ NDF ADF และ ADL พบว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรำข้าว ดังแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ

ลักษณะทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	วัตถุดิบ			
	กากมันสำปะหลัง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	รำข้าว
วัตถุแห้ง	92.6	92.5	92.1	93.0
โปรตีน	2.6	8.8	48.5	12.1
ไขมัน	0.2	4.7	0.9	19.2
เถ้า	3.8	2.5	6.6	13.9
เยื่อใย	6.6	2.7	5.9	14.6
NDF	37.6	9.7	15.3	30.7
ADF	9.8	3.5	9.1	21.7
ADL	3.9	1.3	1.3	9.6

หมายเหตุ NDF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกลาง
ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด
ADL = ลิกนินที่ไม่ละลายในดีเทอเจนที่เป็นกรด

ที่มา: Wisitiporn *et al.* (2006)

จากการประเมินค่าพลังงานในกากมันสำปะหลัง โดยนำผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี (ตารางที่ 3) ไปคำนวณหาค่าพลังงานประเภทต่างๆ ตามวิธีของ NRC (1998) พบว่า กากมันสำปะหลังมีโภชนะย่อยได้ทั้งหมด เท่ากับ 69.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานย่อยได้ เท่ากับ 2.77 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 2.33 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัม

ซึ่งค่าพลังงานประเภทต่างๆ ของกากมันสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงาน คือ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานของกากมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงาน

ลักษณะทางเคมี	วัตถุดิบ			
	กากมันสำปะหลัง	ข้าวโพด	กากถั่วเหลือง	รำข้าว
โภชนะย่อยได้ทั้งหมด (%)	69.9	87.8	78.2	72.2
ค่าพลังงานการย่อยได้ (Mcal/kg.)	2.77	3.30	3.55	2.93
ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/kg.)	2.33	2.89	3.13	2.56

ที่มา: Wisitiporn *et al*. (2006)

5. สารขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลัง

ในมันสำปะหลังมักพบกรดไฮโดรไซยานิค หรือกรดพรัสสิค (prussic acid) ซึ่งเป็นสารขัดขวางโภชนะชนิดหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์ (cyaogenic glucoside) กับเอนไซม์กลูโคซิเดส (glucosidase) อุทัย และสุกัญญา (2547) กล่าวว่า ในหัวมันสำปะหลังมีของเหลวสีขาวข้นอยู่ใต้เปลือก เมื่อหัวมันถูกตัด สับ หรือหั่น จะมีน้ำยางสีขาวไหลออกมา พบว่าในน้ำยางนี้มีสารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์อยู่ 2 ชนิด คือ

5.1 ลินามาริน (linamarin)

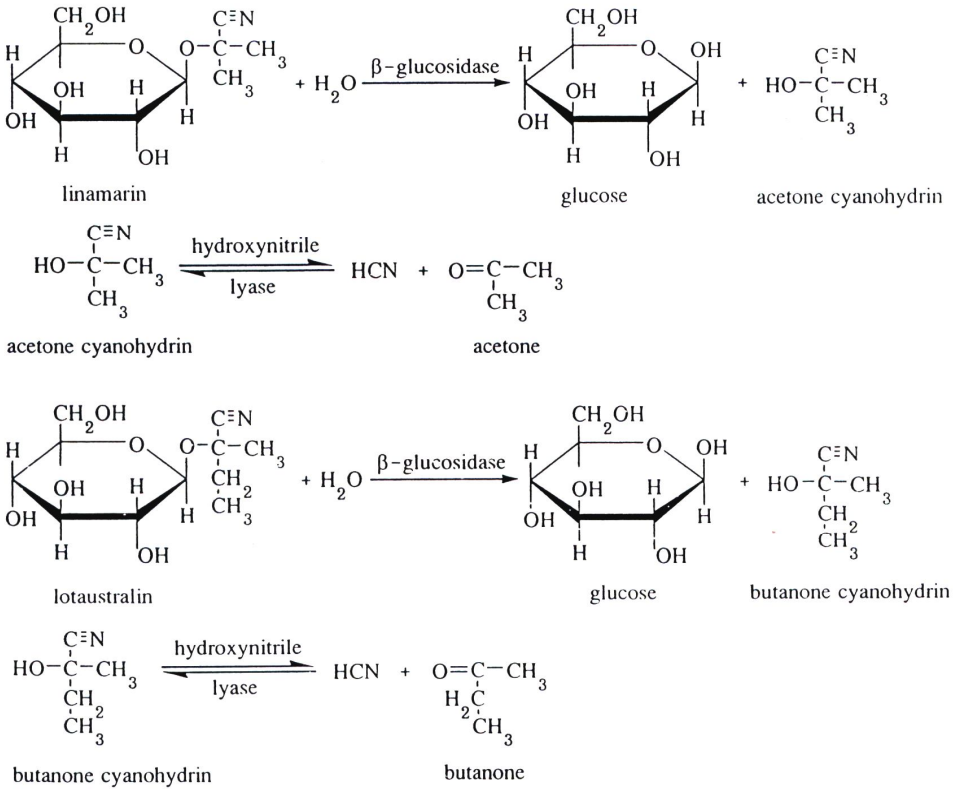
พบในปริมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิคทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2–hydroxyl isobutyronitrile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของอะซีโตน ไซยาโนไฮดริน (acetone cyanodrin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine)

5.2 โลทอสตราลิน (lotoustralin)

พบในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิคทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-2-methylbutyronirtile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของเมทิลเอทิลคีโตนไซยาโนไฮดริน (methylethylketone cyanohydrin) สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine) สารพิษไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์นี้อยู่ในเนื้อเยื่อของพืช เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย เช่น ถูกบด ถูกสับ หรือถูกเคี้ยว จะมีการสลายตัวของสารประกอบนี้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ของเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) และเอนไซม์ออกซีไนตริเลส (oxynitriase) หรือไฮดรอกซีไนไตรล์ไลเอส (hydroxynitrile lyase) ได้สารอะซีโตน ไซยาโนไฮดริน (acetone cyanohydrin) จากการสลายลินามาริน ซึ่งเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวจะปลดปล่อยไซยาไนด์หรือกรดไฮโดรไซยานิคออกมาจากการสลายตัวเอง ได้ผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 2 การที่พืชสามารถปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมา เรียกว่ากระบวนการไซยาโนเจเนซีส (cyanogenesis) ซึ่งโดยธรรมชาติการสร้างกรดไฮโดรไซยานิคของพืช เป็นการป้องกันตัวเองจากการถูกทำลายจากสัตว์และแมลง (Nartey, 1973) สารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์จะมีอยู่ตามส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง เช่น ใบ ลำต้น และหัว เป็นต้น โดยพบอยู่ในส่วนของแวคิวโอล (vacuoles) ส่วนเอนไซม์ลินามาเรสพบอยู่ในไซโตซอล (cytosol) (Cheeke and Shull, 1985) การสลายตัวของสารพิษนี้ พบว่าปฏิกิริยาของเอนไซม์จะสูงในใบอ่อนที่เพิ่งเริ่มคลี่และส่วนเปลือกของหัวมัน ส่วนในเนื้อของหัวมันจะเกิดปฏิกิริยาช้ามาก ซึ่งในสภาพการเจริญเติบโตตามปกติจะไม่พบกรดไฮโดรไซยานิคที่ปล่อยออกมา แต่จะพบเมื่อส่วนของเนื้อเยื่อถูกทำลายหรือถูกบดขยี้ส่วนต่างๆ ซึ่งจะเป็นการเร่งให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารไซยาโนเจนิคกลูโคไซด์ และปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมา (พิชัย, 2528)

เจริญศักดิ์ (2532) รายงานว่าในมันสำปะหลังมีกรดไฮโดรไซยานิคประมาณ 14-400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยสามารถพบได้ที่ส่วนเปลือกของหัวมากกว่าส่วนเนื้อมัน 5–10 เท่า ส่วนใบอ่อนมีมากกว่าใบแก่และเนื้อมัน และยังพบว่าใบมีกรดไฮโดรไซยานิค 83-878 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด เปลือกของหัว 150-1,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และเนื้อมี 5-490 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด ดังแสดงในตารางที่ 5 ปริมาณสารนี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม พันธุ์ และวิธีการวิเคราะห์ สารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์นั้นสร้างขึ้นในส่วนของใบมันสำปะหลังแล้วลำเลียงไปเก็บยังส่วนต่างๆ ของต้นมันสำปะหลัง เช่น ที่รากหรือหัว เป็นต้น อีกทั้งพบว่ากรดไฮโดรไซยานิคที่มีอยู่ในต้นมันสำปะหลังนั้นไม่เป็นอันตราย เพราะว่า ต้นมันสำปะหลังสามารถ

เปลี่ยนกรดไฮโดรไซยานิค เป็นกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโต เพราะกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นองค์ประกอบของโปรตีน คือ แอสพาราจีน (asparagine) แอสพาร์ติค (aspartic) กลูตามีน (glutamine) และกรดกลูตามิค (glutamic acid) ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้เชื่อว่าเป็นสารสุดท้ายในกระบวนการสังเคราะห์ไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์ (พิชัย, 2528; เจริญศักดิ์, 2532)



ภาพที่ 2 การสลายตัวของสารพิษลินามารินและลอทอสตราลิน

ที่มา: Conn (1994)

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

ส่วนของพืช	ไกลโคไซด์		ลินามาเรส
	มก. HCN/กก. น้ำหนักสด	มก. HCN/กก. น้ำหนักแห้ง	มก. HCN/กก. น้ำหนักสด
ยอดอ่อน	490	1,360	730
ใบแก่	380	1,055	100
ก้านใบ	150	417	380
เปลือกลำต้น	535	1,486	81.5
เปลือกหัว	640	1,778	270
เนื้อหัว	140	390	9
มันเส้น	-	30	-
มันอัดเม็ด	-	13.5	-

ที่มา: สาโรช และเยาวมาลย์ (2531)

6. ความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค

ความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค เกิดเนื่องจากไซยาไนด์ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตรโครม ออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการขนส่งอิเลคตรอน (electron transport) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจนของเซลล์ เมื่อไซโตรโครมออกซิเดสถูกขัดขวาง การสร้าง ATP หยุดชะงัก ส่งผลให้เนื้อเยื่อไม่ได้รับพลังงาน ทำให้ระบบการหายใจขัดข้อง สมองขาดออกซิเจน ตับเป็นอวัยวะที่สามารถทำลายกรดไฮโดรไซยานิคที่สัตว์ได้รับเข้าไป แต่ถ้าสัตว์กินอาหารที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในปริมาณมากเกินไป ตับไม่สามารถกำจัดพิษได้หมด สัตว์อาจตายได้ (อโณชา, 2529; Hughes *et al*., 1994)

7. วิธีการลดสารพิษกรดไฮโดรไซยานิค

วิธีการลดสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคจากมันสำปะหลัง เจริญศักดิ์ (2532) ได้แนะนำไว้ดังนี้

7.1 ต้ม เชื่อม ย่าง เผา หรือทอด เพื่อทำลายเอนไซม์ลินามาเรส (อุณหภูมิมากกว่า 72 องศาเซลเซียส)

7.2 การทำให้แห้งโดยความร้อนหรือแสงแดดเพื่อระเหยกรดไฮโดรไซยานิค

7.3 การทำเป็นแป้ง สามารถลดสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคได้อีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต

7.4 การหมัก ระหว่างการหมักจะเกิดแบคทีเรีย Corynebacterium ซึ่งจะใช้แป้งทำให้เกิดกรด และ pH จะต่ำลงเกิดการไฮโดรไลซ์ของสารไซยาโนจีนิคกลูโคไซด์ ได้กรดไฮโดรไซยานิคละลายออกไปกับน้ำ

8. การใช้กากมันสำปะหลังและมันสำปะหลังในอาหารสัตว์ต่อสมรรถภาพการผลิต

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในปัจจุบัน โดยวงการปศุสัตว์ได้หันมาให้ความสนใจใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานในอาหารสุกรใช้กันหลายรูปแบบ (เสกสม, 2550) เช่น มันสำปะหลังสด (fresh cassava) มันเส้น (cassava chip) มันอัดเม็ด (cassava pellets) มันสำปะหลังป่น (cassava meal) แป้งมัน (cassava flour) และกากมันสำปะหลัง (cassava pulp or cassava refuse) โดยมันสำปะหลังมีปริมาณการผลิตปีละประมาณ 22-26 ล้านตัน (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2550) ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อการบริโภคของมนุษย์ จากกระบวนการการผลิตดังกล่าวทำให้ได้กากมันสำปะหลังเป็นผลิตผลพลอยได้ปีละประมาณ 2.03 ล้านตันต่อปี แต่จากการสืบค้นงานวิจัยทั้งจากภายในและภายนอกประเทศ ยังมีการศึกษาถึงการใช้กากมันสำปะหลังในการเลี้ยงสัตว์ไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร ส่วนมากเป็นการศึกษาการใช้มันสำปะหลังที่มีลักษณะฟ่าม เบา และมีปริมาณเยื่อใยอยู่สูงในอาหารสัตว์ ซึ่งพบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับการใช้กากมันสำปะหลัง

8.1 การใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสัตว์

สุกัญญา (2546) ศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสุกรรุ่น และสุกรขุน ในระยะสุกรรุ่น แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารเสริมกากมันสำปะหลังที่ระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารตามลำดับ พบว่าการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใย กลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง มีค่าการย่อยได้ต่ำกว่ากลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยการย่อยได้ของไขมันมีค่าเท่ากับ 33.90, 55.41, 66.33 และ 74.57 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าเท่ากับ 38.40, 47.72, 44.83 และ 57.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ในส่วนของการย่อยได้ของพลังงานในกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง มีค่าการย่อยได้สูงกว่ากลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยค่าการย่อยได้ของพลังงานเท่ากับ 84.95, 84.70, 84.03 และ 83.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของสิ่งแห้งและโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรรุ่น-ขุน โดยใช้สุกรลูกผสมสามสายเลือด (ดูร็อค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรช) เพศผู้ตอนจำนวน 16 ตัว เพศเมีย 16 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 28 กิโลกรัม แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม มีกากมันสำปะหลังระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สิ้นสุดการทดลองเมื่อน้ำหนักเฉลี่ย 97 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า ผลของกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในด้านคุณภาพซาก พบว่า เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเช่นกัน ($P>0.05$)

อุทัย และคณะ (2548) ได้ศึกษาการใช้กากมันสำปะหลัง ในระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในสูตรอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง พบว่าแม่สุกรที่กินอาหารทดลองทุกสูตรไม่มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน จำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิต จำนวนลูกหย่านม น้ำหนักลูกแรกคลอด น้ำหนักลูกหย่านม และอัตราการตายหลังคลอดถึงหย่านมแต่ประการใด ($P>0.05$) กากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารแม่สุกรอุ้มท้องได้ และสามารถใช้ทดแทนในสูตรอาหารได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์

พรทิมล (2551) ศึกษาผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร เพื่อหาปริมาณโภชนะ ความสามารถในการย่อยได้ และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังในสุกรระยะเล็กน้ำหนัก 30 กิโลกรัม และระยะรุ่นน้ำหนัก 60 กิโลกรัม และผลการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซากของสุกร และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ผลการศึกษาพบว่า กากมันสำปะหลังมีความชื้น โปรตีน เยื่อใย ไขมัน เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก เท่ากับ 10.40, 2.36, 16.06, 0.26, 4.59, 1.11, 0.06 และ 66.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าพลังงานรวมเท่ากับ 4,178 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน เยื่อใย และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังในสุกรเล็ก เท่ากับ 70.96, 64.45, 62.71 เปอร์เซ็นต์ และ 2,553 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในสุกรรุ่นมีค่าเท่ากับ 72.83, 69.63, 65.97 เปอร์เซ็นต์ และ 2,767 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการศึกษาถึงผลการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากสุกร พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังในระดับ 20, 30, 40 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน ทำให้ปริมาณการกินอาหารต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และคุณภาพซากของสุกร แตกต่างกับกลุ่มสุกรที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจพบว่าสูตรอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังเท่ากับ 0.56, 0.34 และ 0.39 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังเท่ากับ 0.84 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นสามารถใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในอาหารสุกรได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากสุกร อีกทั้งยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

8.2 การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์

สาโรช และเยาวมาลย์ (2531) ได้ทำการเปรียบเทียบระดับของมันเส้นในอาหารสุกรเล็กจนถึงสุกรขุน โดยใช้มันเส้นระดับ 0, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมที่ระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าทุกกลุ่มแต่อัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน

ไพรัตน์ และคณะ (2534) ทดลองใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวเป็นอาหารแม่สุกรอุ้มท้องและเลี้ยงลูก พบว่าแม่สุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสมรรถภาพการสืบพันธุ์ดี

เทียบเท่ากับแม่สุกรที่กินอาหารสูตรปลายข้าว และมีอัตราการเกิดมัมมี่ หรือตัวอ่อนผิดปกติน้อยกว่าแม่สุกรที่กินอาหารสูตรปลายข้าว ซึ่งยืนยันถึงความปลอดภัยในการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

อนุชา และคณะ (2543) พบว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวได้ทั้งหมดในสูตรอาหารโดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสุกรเมื่อสูตรอาหารนั้นมีการปรับสมดุลโภชนะตามความต้องการของสุกร

อนุชา (2544) ศึกษาการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสุกรระยะรุ่น-ขุน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตต่อสัปดาห์ ปริมาณอาหารที่กิน จำนวนสุกรเจ็บป่วย จำนวนสุกรตาย พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ความหนาไขมันสันหลัง ไม่แตกต่างจากสุกรที่ได้รับอาหารสูตรที่กินข้าวโพดเป็นหลัก

พาพร และคณะ (2546) ที่ได้ทำการใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่มีการเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน พบว่าสุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังที่ไม่เสริมยาปฏิชีวนะ มีแนวโน้มที่จะให้สมรรถภาพการผลิตดีกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังเสริมยาปฏิชีวนะ และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการใช้มันสำปะหลังโดยไม่ได้เสริมยาในสูตรอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน สามารถให้สมรรถภาพการผลิตได้ใกล้เคียงกับสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพดที่เสริมยาปฏิชีวนะได้

สาโรช (2547) และ อุทัย และสุกัญญา (2547) ที่ใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานหลักในอาหารสุกรระยะหลังหย่านม (อายุ 4-8 สัปดาห์) โดยใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตในสุกรระยะหลังหย่านม ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน จำนวนสุกรเจ็บป่วย และจำนวนสุกรที่ตาย โดยการใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวในอาหารสุกรที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินอาหารสูงที่สุด และที่ระดับ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สุกรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีที่สุด

สุดารัตน์ และคณะ (2547) ศึกษาผลการใช้กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกในสูตรอาหารลูกสุกรระยะหย่านมที่ใช้ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นหลัก รายงานว่า การใช้อาหารสูตรมันสำปะหลัง 64 เปอร์เซ็นต์ ในลูกสุกรหย่านม มีสมรรถภาพการผลิตแก่ลูกสุกรดีกว่าการใช้อาหาร

สูตรปลายข้าว 64 เปอร์เซ็นต์ อาหารสูตรมันสำปะหลังสามารถทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรหย่านมเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ทั่วไป แม้ว่ามันสำปะหลังที่ได้นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นมันเส้นจากการผลิตโดยลานมันทั่วไป ไม่ได้ผ่านการทำให้สุกก่อน แต่ลูกสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังไม่ได้มีการแสดงอาการท้องเสีย ขี้ไหล ทั้งนี้อาจมีผลมาจากแป้งในมันสำปะหลังย่อยได้ง่าย ลูกสุกรสามารถย่อยได้ดี จึงทำให้สัตว์มีสุขภาพดี

เอกณรินทร์ และคณะ (2549) ศึกษาการทดแทนปลายข้าวด้วยกากมันสำปะหลังและกากตะกอนเบียร์ในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสุกรรุ่น-ขุน พบว่าสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก ซึ่งได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง ความหนาไขมันสันหลัง ความลึกเนื้อสัน และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ไม่แตกต่างจากสุกรที่ได้รับอาหารสูตรปลายข้าว ($P>0.05$)

อุทัย และคณะ (มมป.) รายงานว่าสุกรหลังหย่านม (อายุ 4-8 สัปดาห์) ที่กินสูตรอาหารข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดและมันเส้นมีสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการแลกน้ำหนัก แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Wu (1991) ได้ศึกษาการใช้มันเส้นในอาหารสุกรหย่านมที่ระดับ 0, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการแลกเนื้อในการใช้มันเส้นที่ระดับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารให้ผลดีกว่าสุกรในกลุ่มอาหารควบคุม

Chakrit (2000) พบว่าการใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพดในระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรรุ่น-ขุน ไม่มีความแตกต่างกันในส่วนสมรรถภาพการผลิต

นอกจากนี้ Reas (1996) ได้ทำการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในมันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ ที่ส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร และในมูล พบว่ามันสำปะหลังมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานในระบบทางเดินอาหารได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และพลังงานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมันสำปะหลัง และข้าวโพด

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นจะเห็นว่า วัตถุดิบที่มีระดับเยื่อใยสูงและลักษณะฟ่าม เช่น มันสำปะหลัง สามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ ทั้งนี้การใช้กากมันสำปะหลังซึ่งมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับมันสำปะหลัง สามารถนำมาใช้ในสูตรอาหารสุกรอนุบาลได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามควรที่จะต้องศึกษาถึงระดับการใช้ที่เหมาะสมที่จะมีผลต่อในด้านประสิทธิภาพผลิตอาหารและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ โดยหากพบว่ากากมันสำปะหลังนั้นสามารถใช้ได้ในสูตรอาหารสุกรอนุบาลโดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลพลอยได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง อีกทั้งยังช่วยลดการใช้วัตถุดิบพลังงานชนิดอื่นที่มีราคาแพงในสูตรอาหาร และยังช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์อีกทางหนึ่งด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

1.1 อุปกรณ์

1) อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างกากมันสำปะหลัง
2) เครื่องชั่งน้ำหนัก
3) เครื่องมือและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี
4) เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (bomb calorimeter)

1.2 วิธีการ

การศึกษาใช้ตัวอย่างกากมันสำปะหลังที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 5 โรงงาน จากภาคตะวันออก (จำนวน 2 โรงงาน) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จำนวน 3 โรงงาน) เพื่อศึกษาลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณทราย โดยวิธีการหาเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) (A.O.A.C., 1990) และชนิดและปริมาณสารเยื่อใย โดยวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลส (non-cellulose NSP) โดยวิธีการ enzymatic method

2) ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า NDF ADF แคลเซียม ฟอสฟอรัส โดยวิธี proximate analysis (A.O.A.C., 1990) และพลังงาน โดย bomb calorimeter วิเคราะห์แป้งโดยวิธี polarimetric method วิเคราะห์หากรดอะมิโนโดยวิธี Waters AccQ. Tag amino acid analysis method (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง บางเขน) และปริมาณไซยาไนด์โดยวิธี APHA method (IQA laboratory)

3) ลักษณะทางชีวภาพ ได้แก่ วิเคราะห์สารพิษจากเชื้อรา โดยวิธี HPLC (Romer labs Singapore Pte. Ltd.) และศึกษาการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

3.1) ศึกษาค่าการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังในสุกร

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ดูร็อค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรช) เพศผู้ตอน สุกรน้ำหนัก 25 กิโลกรัม จำนวน 30 ตัว แบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัว สุ่มสุกรแต่ละตัวแยกเลี้ยงเดี่ยว ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) สุกรแต่ละตัวทำการเลี้ยงในกรงทดลองหาการย่อยได้ (metabolic cage) เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับกรงและอาหาร เป็นระยะเวลา 7 วัน ระยะนี้จะไม่มีการเก็บข้อมูล ส่วนระยะที่ 2 เป็นระยะเก็บข้อมูล (experimental period) เป็นระยะเวลา 3 วัน

อุปกรณ์

1) โรงเรือนเปิดสำหรับเลี้ยงสุกร
2) เครื่องผสมอาหาร
3) เครื่องชั่งน้ำหนัก
4) กรงเมแทบอลิก (metabolic cage)
5) อุปกรณ์สำหรับการเลี้ยงสุกรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บปัสสาวะและมูลสุกร

อาหารทดลอง

สุกรเล็กได้รับอาหารทดลองตั้งแต่น้ำหนักตัวเริ่มต้น 25 กิโลกรัม โดยในอาหารทดลองได้ทำการเสริมโครมิกซ์ออกไซด์ที่ระดับ 0.5% ของสูตรอาหาร เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษาการย่อยได้ของอาหาร โดยสุ่มสุกรให้ได้รับอาหารทดลองที่มีมันสำปะหลังจากแหล่งต่างๆ 5 แห่งในรูปของอาหารผง ส่วนประกอบของอาหารดังแสดงในตารางที่ 6

สูตรที่ 1 อาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 อาหารควบคุม 80% + กากมันสำปะหลังโรงงาน A 20%
สูตรที่ 3 อาหารควบคุม 80% + กากมันสำปะหลังโรงงาน B 20%
สูตรที่ 4 อาหารควบคุม 80% + กากมันสำปะหลังโรงงาน C 20%
สูตรที่ 5 อาหารควบคุม 80% + กากมันสำปะหลังโรงงาน D 20%
สูตรที่ 6 อาหารควบคุม 80% + กากมันสำปะหลังโรงงาน E 20%

โดยที่
โรงงาน A: โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก
โรงงาน B: โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก
โรงงาน C: โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
โรงงาน D: โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
โรงงาน E: โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบในอาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 25 กิโลกรัม) สูตรควบคุม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
ข้าวโพด	48.39
รำข้าวละเอียด	10.00
น้ำมันรำข้าว	1.91
กากถั่วเหลือง (44% CP)	21.60
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	15.00
แอล-ไลซีน	0.05
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.03
ไดแคลเซียมฟอสเฟต (18% P)	1.70
หินฝุ่น	0.62
เกลือ	0.46
ไวตามิน-แร่ธาตุ[1]	0.25
รวม	100.00

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หมายเหตุ [1]สุกรเล็ก (ไวตามินและแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย ไวตามิน A 7.20 MIU, ไวตามิน D3 1.44 MIU, ไวตามิน E 12000 ยูนิต, ไวตามิน K3 0.80 กรัม, ไวตามิน B1 1.00 กรัม, ไวตามิน B2 1.60 กรัม, ไวตามิน B6 1.20 กรัม, ไวตามิน B12 0.008 กรัม, กรดแพนโทธินิค 6.00 กรัม, ไนอะซิน 8.00 กรัม, กรดโฟลิก 0.40 กรัม, ไบโอติน 0.04 กรัม, ซีลีเนียม 0.10 กรัม, เหล็ก 64.0 กรัม, แมงกานีส 32.0 กรัม, สังกะสี 40.0 กรัม, คอปเปอร์ 72.0 กรัม, โคบอลล์ 0.40 กรัม และไอโอดีน 0.40 กรัม

การให้อาหาร

สุกรเล็กได้รับอาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00 และ 16.00 น. ให้สุกรกินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล

การทดลองทำการเลี้ยงสุกรบนกรงทดลองหาการย่อยได้แบบขังเดี่ยว ทำการทดลองเป็นเวลา 12 วัน โดยแบ่งเป็นช่วงปรับตัว 7 วัน หลังจากนั้นสุกรจะได้รับอาหารที่ใส่โครมิกซ์ออกไซด์ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 วัน ทำการสุ่มเก็บมูลและปัสสาวะในวันที่ 3-5 ของการใส่โครมิกซ์ออกไซด์ ตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม จากนั้นเติมกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) 6 N เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างในมูลและปัสสาวะให้เท่ากับ 4 จากนั้นเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บมูลและปัสสาวะครบ 3 วัน นำมูลทั้งหมดของสุกรแต่ละตัวมารวมกันแล้วสุ่มมูลประมาณ 500 กรัม ตากแดดให้แห้ง และนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นำมาบดและวิเคราะห์หาค่าโปรตีน ไขมัน ความชื้น พลังงานรวม และค่าโครมิกซ์ออกไซด์โดยวิธีของ Bolin *et al.* (1952) ส่วนปัสสาวะสุ่มตัวอย่างละประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงาน และสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี โดยวิธี proximate analysis และวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์ทางเคมี

1) วิเคราะห์หาค่าโปรตีน ไขมัน ความชื้น และพลังงานรวมของอาหารและมูลสุกร

2) วิเคราะห์หาปริมาณของโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารทดลองและมูลสุกร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ (%) ของกากมันสำปะหลัง

$$= 100 - 100 \left\{ \frac{\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \%\ \text{โภชนะในมูล}}{\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \%\ \text{โภชนะในอาหาร}} \right\}$$

พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) ของกากมันสำปะหลัง

ME อาหารทดลอง = (ME กลุ่มควบคุม × 0.8) + (ME กากมันสำปะหลัง × 0.2)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) ค่าเฉลี่ย (mean, $\bar{X}$) = $\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

3) สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation, %CV)

$$\%CV = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100\%$$

หมายเหตุ

N, n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\sum X$ = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

การทดลองที่ 2

1. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

1.1 อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรอนุบาลสามสายพันธุ์ (ดูร็อค x ลาร์จไวท์ x แลนด์เรช) น้ำหนักตัวเริ่มต้นประมาณ 7 กิโลกรัม จำนวน 192 ตัว โดยแบ่งสุกรแต่ละเพศออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว แต่ละกลุ่มถูกจัดกลุ่มทดลองโดยมีการให้อาหารและน้ำตลอดเวลา

ลูกสุกรทุกตัวได้รับวัคซีนไมโครพลาสมา+อหิวาต์สุกร พิษสุนัขบ้าเทียม+ปากและเท้าเปื่อย และ พิษสุนัขบ้าเทียม ที่อายุ 5, 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก
2) ถังใส่อาหาร
3) อุปกรณ์จดบันทึกข้อมูล

1.2 วิธีการ

อาหารทดลอง

อาหารทดลองนั้นคำนวณโดยใช้ข้อมูลค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองที่ 1 และเลือกใช้กากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพ โดยดูจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีเทคโนโลยีทันสมัย การปนเปื้อนดิน ทรายน้อย ซึ่งเหมาะสมกับการเป็นตัวแทนของกากมันสำปะหลังที่มีคุณภาพ จำนวน 1 โรงงาน โดยคำนวณสูตรอาหารให้มีองค์ประกอบ และปริมาณโภชนะที่ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสม โดยสุ่มสุกรอนุบาลให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกันในรูปของอาหารผง 4 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง (สูตรควบคุม)
สูตรที่ 2 อาหารที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 5%
สูตรที่ 3 อาหารที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 10%
สูตรที่ 4 อาหารที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 15%

เลี้ยงสุกรตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยอาหารทดลองได้มีการคำนวณให้มีปริมาณโภชนะที่เพียงพอกับความต้องการของลูกสุกร ในรูปของอาหารผง 4 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลอายุ 4-7 สัปดาห์

วัตถุดิบ	**ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%)**			
	0	**5**	**10**	**15**
ข้าวโพด	26.69	23.48	18.00	11.90
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	15.69	17.04	17.95	18.90
กากถั่วเหลือง 47% CP	15.00	15.00	15.00	15.00
ข้าวโพดเอ็กซ์ทรูด	15.00	15.00	15.00	15.00
กากมันสำปะหลัง	0	5.00	10.00	15.00
มันเส้น	10.00	10.00	8.75	8.00

ตารางที่ 7 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%)			
	0	**5**	**10**	**15**
Nuklospray K05	7.50	7.49	7.50	7.50
เนื้อและกระดูกป่น 53% CP	4.00	4.00	4.00	4.00
รำข้าวละเอียด	3.00	0	0	0
ไดแคลเซียมฟอสเฟต 18% P	0.91	0.93	0.97	1.01
หินฝุ่น	0.87	0.52	0.48	0.42
น้ำมันปาล์ม	0	0.30	1.10	2.00
พรีมิกซ์ยา[1]	0.55	0.55	0.55	0.55
เกลือ	0.34	0.27	0.27	0.27
ไวตามิน-เกลือแร่[2]	0.20	0.20	0.20	0.20
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.12	0.13	0.13	0.14
แอล-ไลซีน	0.10	0.09	0.07	0.05
แอล-ทรีโอนีน	0.05	0.04	0.04	0.04
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนะโดยการคำนวณ (%)				
โปรตีน	22.00	22.00	22.00	22.00
เยื่อใย	3.22	3.52	4.00	4.50
ไขมัน	6.79	6.82	7.54	8.34
เถ้า	6.36	5.94	6.09	6.24
ME (kcal/kg)	3,400	3,400	3,400	3,400
ไลซีน	1.30	1.30	1.30	1.30
เมทไธโอนีน	0.42	0.42	0.43	0.43
ทรีโอนีน	0.87	0.87	0.87	0.87
ทริปโตเฟน	0.25	0.25	0.26	0.26
แคลเซียม	1.00	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.46	0.46

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หมายเหตุ [1]ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย ไทอะมูลิน ไฮโดรเจนฟูลิค 100 กรัม, โคลิสติน ซัลเฟต เทียบเท่า โคลิสติน 400 กรัม, คอปเปอร์ซัลเฟต เพนทาไฮเดท 980 กรัม มีทองแดง 245 กรัม และอะม็อกซีซิลลิน ไตรไฮเดท เทียบเท่า อะม็อกซีซิลลิน 500 กรัม

[2]สุกรเล็ก (ไวตามินและแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย ไวตามิน A 7.20 MIU, ไวตามิน D3 1.44 MIU, ไวตามิน E 12000 ยูนิต, ไวตามิน K3 0.80 กรัม, ไวตามิน B1 1.00 กรัม, ไวตามิน B2 1.60 กรัม, ไวตามิน B6 1.20 กรัม, ไวตามิน B12 0.008 กรัม, กรดแพนโทธินิค 6.00 กรัม, ไนอะซิน 8.00 กรัม, กรดโฟลิก 0.40 กรัม, ไบโอติน 0.04 กรัม, ซีลีเนียม 0.10 กรัม, เหล็ก 64.0 กรัม, แมงกานีส 32.0 กรัม, สังกะสี 40.0 กรัม, คอปเปอร์ 72.0 กรัม, โคบอลล์ 0.40 กรัม และไอโอดีน 0.40 กรัม

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบในสูตรอาหารสุกรอนุบาลอายุ 7-9 สัปดาห์

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%)			
	0	**5**	**10**	**15**
ข้าวโพด	41.92	41.34	37.81	31.74
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	8.00	8.00	8.00	8.00
กากถั่วเหลือง 47% CP	20.36	22.04	23.26	24.04
กากมันสำปะหลัง	0	5.00	10.00	15.00
มันเส้น	10.00	10.00	10.00	9.35
เนื้อและกระดูกป่น 53% CP	4.00	4.00	4.00	4.00
รำข้าวละเอียด	10.00	6.38	3.00	3.00
รำข้าวสกัด	2.45	0	0	0
ไดแคลเซียมฟอสเฟต18% P	1.07	1.16	1.19	1.19
หินฝุ่น	0.53	0.45	0.41	0.39
น้ำมันปาล์ม	0	0	0.70	1.70
พรีมิกซ์ยา[1]	0.55	0.55	0.55	0.55
เกลือ	0.38	0.39	0.39	0.39
ไวตามิน-แร่ธาตุ[2]	0.20	0.20	0.20	0.20

ตารางที่ 8 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%)			
	0	**5**	**10**	**15**
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.16	0.17	0.17	0.18
แอล-ไลซีน	0.24	0.23	0.21	0.19
แอล-ทรีโอนีน	0.11	0.10	0.10	0.10
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนะโดยการคำนวณ (%)				
โปรตีน	20.00	20.00	20.00	20.00
เยื่อใย	3.87	3.81	4.02	4.50
ไขมัน	6.39	5.93	6.06	6.79
เถ้า	6.83	6.53	6.46	6.62
ME(kcal/kg)	3,300	3,300	3,300	3,300
ไลซีน	1.25	1.25	1.25	1.25
เมทไธโอนีน	0.43	0.43	0.44	0.44
ทรีโอนีน	0.84	0.84	0.84	0.84
ทริปโตเฟน	0.22	0.22	0.23	0.23
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.46	0.45

หมายเหตุ [1]ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย ไทอะมูลิน ไฮโดรเจนฟูลิค 100 กรัม, โคลิสติน ซัลเฟต เทียบเท่า โคลิสติน 400 กรัม, คอปเปอร์ซัลเฟต เพนทาไฮเดท 980 กรัม มีทองแดง 245 กรัม และอะม็อกซีซิลลิน ไตรไฮเดท เทียบเท่า อะม็อกซีซิลลิน 500 กรัม

[2]สุกรเล็ก (ไวตามินและแร่ธาตุ 1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย ไวตามิน A 7.20 MIU, ไวตามิน D3 1.44 MIU, ไวตามิน E 12000 ยูนิต, ไวตามิน K3 0.80 กรัม, ไวตามิน B1 1.00 กรัม, ไวตามิน B2 1.60 กรัม, ไวตามิน B6 1.20 กรัม, ไวตามิน B12 0.008 กรัม, กรดแพนโทธินิค 6.00 กรัม, ไนอะซิน 8.00 กรัม, กรดโฟลิก 0.40 กรัม, ไบโอติน 0.04 กรัม, ซีลีเนียม 0.10 กรัม, เหล็ก 64.0 กรัม, แมงกานีส 32.0 กรัม, สังกะสี 40.0 กรัม, คอปเปอร์ 72.0 กรัม, โคบอลล์ 0.40 กรัม และไอโอดีน 0.40 กรัม

การให้อาหาร

สุกรอนุบาลได้รับอาหารทั้งวัน ให้สุกรกินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*)

การบันทึกผลการทดลอง

เลี้ยงเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ และเก็บข้อมูลดังนี้

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) (average daily gain)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัม/วัน) (average daily feed intake)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้ - ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{(จำนวนสุกรทั้งหมด} \times \text{จำนวนวันที่เลี้ยง)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed gain ratio)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{อัตราการตาย (\%) (mortality rate)} = \frac{\text{จำนวนสุกรที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ศึกษาทั้งหมด ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย มาวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบแผนการทดลอง randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดย tukey's honestly ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

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

Y_{ij} = ค่าสังเกตจาก treatment ที่ i block ที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยประชากร

τ_i = อิทธิพลเนื่องจาก treatment โดยที่ i = 1, 2, 3, 4

β_j = อิทธิพลเนื่องจาก block โดยที่ j = เพศผู้ และ เพศเมีย

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลอื่น ๆ

สถานที่ทำการทดลอง

1) วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ของกากมันสำปะหลัง ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน จ. นครปฐม

2) ศึกษาค่าการย่อยได้แบบปรากฏ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง ณ สถานีวิจัยทับกวาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.แก่งคอย จ. สระบุรี

3) ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล ณ บริษัทไบโอ-เจน ฟีดมิลล์ ตำบลดอยติ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง: มิถุนายน 2551
สิ้นสุดการทดลอง: สิงหาคม 2551

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

1.1 คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณทราย และน้ำตาลในส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลส

ตารางที่ 9 ค่าความหนาแน่นและปริมาณทรายในกากมันสำปะหลัง

รายการ	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					mean ± SD[3]	CV[4] (%)
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]		
ความหนาแน่น (g/L)	402	420	320	350	331	364.60±44.16	12.11
ทราย (%)	2.75	2.78	2.01	2.85	0.42	2.16±1.03	47.69

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก

[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[3] ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

[4] สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

ตารางที่ 10 น้ำตาลในส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง

รายการ	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					mean ± SD[3]	CV[4] (%)
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]		
อะราบิโนส							
ส่วนที่ละลายน้ำ	0.62	0.49	0.51	0.51	0.45	0.52±0.06	11.54
รวม	0.97	0.83	0.94	1.00	0.84	0.92±0.08	8.70
ไซโลส							
ส่วนที่ละลายน้ำ	0.04	trace	0.10	0.05	0.04	0.06±0.03	50.00
รวม	1.50	1.17	1.90	1.51	1.46	1.51±0.26	17.22
แมนโนส							
ส่วนที่ละลายน้ำ	0.20	0.18	0.21	0.19	0.22	0.20±0.02	10.00
รวม	0.26	0.20	0.24	0.26	0.27	0.25±0.03	12.00
กาแลคโตส							
ส่วนที่ละลายน้ำ	2.12	1.53	1.48	1.85	1.43	1.68±0.29	17.26
รวม	2.97	2.40	2.11	2.66	2.18	2.46±0.36	14.63
กลูโคส							
ส่วนที่ละลายน้ำ	1.47	1.41	0.71	1.62	0.78	1.20±0.42	35.00
รวม	2.20	2.13	1.03	2.39	1.19	1.79±0.63	35.20

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก

[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[3] ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

[4] สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ ของกากมันสำปะหลัง จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวน 5 โรงงาน ในเขตภาคตะวันออก 2 โรงงาน และเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 โรงงาน พบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างกากมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยที่ 365 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม กากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแต่ละแห่งมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ 12.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณทรายพบว่า

มีค่าเฉลี่ยที่ 2.16 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงถึง 47.69 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 9) ค่าเฉลี่ยของน้ำตาลในส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลส (non cellulose NSP) ได้แก่ อะราบิโนส ไซโลส แมนโนส กาแลคโตส และกลูโคส มีค่าเท่ากับ 0.92, 1.51, 0.25, 2.46 และ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนอยู่ระหว่าง 8 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10) ซึ่งเมื่อนำค่าความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของมันสำปะหลังบด พบว่า มันสำปะหลังบดมีค่าความหนาแน่นประมาณ 450-480 กรัมต่อลิตร (เสกสม, 2550) ทั้งนี้เนื่องจากกากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังบด จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง ตลอดจนสายพันธุ์ กรรมวิธีในการผลิต บางโรงงานจะใช้สายพันธุ์มันสำปะหลังแตกต่างกัน รวมทั้งสภาพดินในแต่ละภาคย่อมมีผลต่อปริมาณเยื่อใยที่พบในหัวมันสำปะหลัง ตลอดจนกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกัน บางโรงงานมีการสกัดแป้งออกเป็นแป้งหยาบก่อน และแป้งละเอียด ตามลำดับ ทำให้มีเปอร์เซ็นต์แป้งและโภชนะสลายไปสูง จึงมีผลต่อความหนาแน่น หรือที่เรียกว่าความฟ่าม อีกทั้งปริมาณทรายมีมากน้อยขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีการเก็บเกี่ยว กรรมวิธีการผลิต การเก็บเกี่ยวเกษตรกรจะต้องเคาะดินทราย ให้หลุดออกจากหัวมันสำปะหลังมากที่สุด มิฉะนั้นจะเป็นสาเหตุทำให้มีการปนเปื้อนของดินทรายสูง และกรรมวิธีการผลิตก็ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ทรายได้เช่นกัน เช่น บางโรงงานจะมีการร่อนทราย หรือเศษดิน ราก เหง้า ออกไปก่อน โดยวิธีการให้มันสำปะหลังเสียดสีกัน หลังจากนั้นล้างหัวมันสำปะหลัง โรงงานแต่ละแห่งก็มีขั้นตอนที่กล่าวมาแตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณทรายที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบได้เช่นกัน

1.2 คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย NDF ADF แคลเซียม ฟอสฟอรัส พลังงาน แป้ง NFE ไซยาไนด์ และกรดอะมิโน

ตารางที่ 11 ลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

รายการ (%น้ำหนักแห้ง)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					mean ± SD[3]	CV[4] (%)
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]		
ความชื้น	10.96	12.93	11.34	10.73	11.46	11.49 ± 0.86	7.49
โปรตีน	2.49	2.25	3.42	2.44	1.23	2.37 ± 0.78	32.9
ไขมัน	0.55	0.45	0.50	0.18	0.29	0.39 ± 0.15	38.4
เถ้า	5.94	5.60	5.73	6.53	4.95	5.75 ± 0.57	9.91
เยื่อใย	14.65	12.16	14.75	13.91	14.54	14.00 ± 1.08	7.71
NDF	42.86	39.85	43.31	38.23	38.84	40.62 ± 2.33	5.74
ADF	35.23	27.12	32.02	25.90	17.99	27.65 ± 6.58	23.8
แคลเซียม	1.19	0.79	0.73	0.87	0.38	0.79 ± 0.29	36.7
ฟอสฟอรัส	0.019	0.019	0.027	0.027	0.021	0.023 ± 0.004	17.3
แป้ง	50.45	54.17	47.97	49.41	48.98	50.19 ± 2.40	4.78
NFE	65.41	66.61	64.26	66.21	67.53	66.00 ± 1.24	1.88
GE (kcal/kg.)	3,510.5	4,012.4	4,002.9	3,564.0	4,173.6	3,852.71 ± 296	7.69
ไซยาไนด์ (ppm.)	0.50	1.34	16.60	1.19	1.20	4.17 ± 6.96	166.

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก

[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[3] ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

[4] สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในกากมันสำปะหลัง

กรดอะมิโน (mg/100g)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					mean ± SD[3]	CV[4](%)
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]		
อะลานีน	40.78	34.16	40.72	28.92	24.35	33.79 ± 7.24	21.44
อาร์จินีน	128.13	149.72	188.32	145.34	151.78	152.66 ± 22.00	14.41
แอสพาร์ติก	44.95	60.69	43.37	42.05	52.38	48.69 ± 7.81	16.04
ซีสตีน[5]	-	-	-	-	-	-	-
กลูตามิก	141.41	140.65	181.04	142.83	146.92	150.57 ± 17.20	11.43
ไกลซีน	29.03	22.76	24.99	20.60	20.69	23.61 ± 3.52	14.91
ฮิสติดีน	37.64	48.91	78.75	46.56	45.01	51.37 ± 15.87	30.90
ไฮดรอซีไลซีน[5]	-	-	-	-	-	-	-
ไฮดรอซีโพรลีน	21.89	28.16	25.21	21.08	22.82	23.83 ± 2.87	12.05
ไอโซลิวซีน	46.14	59.18	69.57	59.02	38.38	54.46 ± 12.24	22.47
ลิวซีน	127.22	120.65	179.12	130.36	90.29	129.53±31.95	24.67
ไลซีน	107.31	235.25	436.94	212.40	178.29	234.04 ± 123.30	52.68
เมทไธโอนีน	28.28	29.05	33.01	30.86	26.70	29.58 ± 2.43	8.22
เฟนิลอะลานีน	80.76	75.48	110.92	85.28	63.19	83.13 ± 17.60	21.17
โพรลีน	33.11	40.30	40.50	36.75	40.98	38.33 ± 3.37	8.79
เซอลีน	22.38	26.01	23.16	20.89	23.29	23.15 ± 1.86	8.05
ทรีโอนีน	24.30	28.27	27.66	25.68	26.25	26.43 ± 1.58	5.99
ทริปโตเฟน	23.14	24.06	42.48	24.23	23.41	27.46 ± 8.41	30.61
ไทโรซีน	59.64	68.55	94.11	70.74	61.49	70.91 ± 13.78	19.43
วาลีน	36.02	39.81	35.70	31.28	28.01	34.16 ± 4.58	13.40

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก

[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

[3] ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

[4] สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

[5]กรดอะมิโนมีปริมาณจำกัดที่เครื่องจะตรวจวัดได้ คือ ซีสตีน และไฮดรอซีไลซีน 20 มิลลิกรัมใน100 กรัม

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง (ตารางที่ 11) โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย NDF ADF แคลเซียม ฟอสฟอรัส พลังงาน NFE และแป้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และแป้งมีค่าเท่ากับ 2.37, 0.39, 14.00 และ 50.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 32.91, 38.46, 7.71 และ 4.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความชื้น เถ้า เยื่อใย NDF พลังงาน NFE และแป้งของตัวอย่างกากมันสำปะหลังจาก 5 โรงงาน มีค่าต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของโปรตีน ไขมัน ADF แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 17.39-38.46 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไซยาไนด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งมีสัมประสิทธ์ความแปรปรวนอยู่สูงถึง 166.91 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดอะมิโน จำนวน 20 ชนิด ทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็น และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน 5.99-52.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดอะมิโนไลซีนมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงที่สุด (ตารางที่ 12) ซึ่งลักษณะทางเคมี รวมทั้งปริมาณกรดอะมิโนมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับ คุณภาพหัวมันสำปะหลังสด โดยเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังสดมา แล้วไม่ได้เข้าสู่กระบวนการสกัดแป้งภายในวันที่มีการเก็บเกี่ยว จะมีผลต่อปริมาณแป้งในหัวมันลดลง อีกทั้งปริมาณคาร์โบไฮเดรตในหัวมันสำปะหลังขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์ อายุมันสำปะหลัง ปริมาณน้ำฝน และสภาวะแวดล้อมที่ปลูก (Sriroth *et al*., 1999) ในฤดูแล้งต้นมันสำปะหลังจะมีการเจริญน้อย และมีการสะสมแป้งสูง แต่ในช่วงฤดูฝน ต้นมันสำปะหลังจะมีการสลายแป้งที่สะสมในหัวมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของใบกิ่งต้นในส่วนเหนือดินทำให้ปริมาณแป้งลด (Defloor *et al*., 1998; Santisopasri *et al*., 2001) ซึ่งจากการสอบถามกับทางโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแห่งหนึ่งในภาคตะวันออก พบว่า หัวมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจะมีปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังมากกว่าฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่กล่าวว่า ฤดูแล้งมีการสะสมแป้งสูง ตลอดจนกรรมวิธีในการสกัดแป้งโรงงานที่มีเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยได้มาตรฐาน มีการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีการโม่ด้วยลูกโม่ และแยกโปรตีนด้วยเครื่องดีแคนเตอร์ (decanter) และแยกน้ำแป้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงและอบแห้งโดยระบบลม จะมีกระบวนการสกัดเปอร์เซ็นต์แป้งออกไปมากกว่า ทำให้มีเปอร์เซ็นต์แป้งหลงเหลือในกากมันสำปะหลังน้อยลง (Sriroth *et al*., 2000) หัวมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันอยู่น้อยประมาณร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 ของน้ำหนักแห้ง (Grace, 1977; Go'mez *et al*. 1984; Beynum and Roels, 1985 and Balagopalan *et al*., 1988) สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่มีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้จะผ่านกรรมวิธีการสกัดแป้งออกไปในการวิจัยครั้งนี้ โดยหัวมันที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้น จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้น (Santisopasri *et al*., 2001) ส่วนอายุการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังน้อยที่ 6 ถึง 8 เดือน จะมีปริมาณโปรตีนในหัวมันสำปะหลังสูง อีกทั้ง

อายุการเก็บเกี่ยวยังมีผลต่อปริมาณเยื่อใยในหัวมันสำปะหลัง และมันสำปะหลังที่ปลูกในฤดูแล้งจะมีเยื่อใยสูงกว่ามันที่ปลูกในฤดูฝน (Ketiku and Oyenuga, 1972)

ปริมาณไซยาไนด์ที่พบในกากมันสำปะหลังทั้ง 5 แห่ง ที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ ไม่ส่งผลเสียต่อสัตว์ เนื่องจากวิธีการทำให้แห้ง จะมีการตากแดด สอดคล้องกับการรายงานของเจริญศักดิ์ (2532) ที่กล่าวว่า กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีการผ่านความร้อนและผ่านการตากแดดเพื่อทำให้แห้ง ทำให้มันสำปะหลังมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่าระดับ 80-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อุทัย และสุกัญญา, 2547) ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ส่งผลเสียต่อสัตว์ ส่วนอายุการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลัง และพบว่าสายพันธุ์มีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในหัวมันสำปะหลัง (Collens, 1915) โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีปริมาณไซยาไนด์สูงสุด (จากการสอบถามโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง)ในการปลูกมันสำปะหลังแต่ละภาคจะปลูกพันธุ์ที่แตกต่างกัน ตลอดจนอายุการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ที่อายุ 8 เดือน มีปริมาณไซยาไนด์ (เฉลี่ย 1,481 และ 290 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สูงกว่าที่อายุ 10 เดือน (เฉลี่ย 648 และ 196 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากปัจจัยของการเพาะปลูก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน มีรายงานว่าปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการสะสมไซยาโนจินิกกลูโคไซด์ ในช่วงฤดูแล้งหัวมันสำปะหลังโดยเฉพาะบริเวณเปลือกจะมีการสะสมไซยาโนจินิกกลูโคไซด์ ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการเปลี่ยนไปเป็นไซยาไนด์สูงกว่าในฤดูอื่น ทำให้มันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งมีปริมาณไซยาไนด์สูงกว่าฤดูฝน (Ekanayake and Bokanga, 1994)

1.3 คุณลักษณะทางชีวภาพ ได้แก่ วิเคราะห์สารพิษจากเชื้อรา การย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 13 สารพิษจากเชื้อราในกากมันสำปะหลัง

ชนิดสารพิษจากเชื้อรา(μg/kg)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง				
	A[1]	B[1]	C[2]	D[2]	E[2]
Aflatoxin B1	<1	<1	<1	<1	<1
Aflatoxin B2	<1	<1	<1	<1	<1
Aflatoxin G1	<1	<1	<1	<1	<1
Aflatoxin G2	<1	<1	<1	<1	<1
Zearalenone	<32	<32	<32	<32	<32

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ชนิดสารพิษจากเชื้อรา(μg/kg)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง				
	A[1]	**B**[1]	**C**[2]	**D**[2]	**E**[2]
Deoxynivalenol	<50	<50	<50	<50	<50
Fumonisin B1	<100	<100	<100	<100	<100
Fumonisin B2	<100	<100	<100	<100	<100
Ochratoxin	<2	<2	<2	<2	<2

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก [2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 14 การย่อยได้แบบปรากฏของไขมันและโปรตีน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง

รายการ (%)	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง					mean ± SD[3]	CV[4] (%)
	A[1]	**B**[1]	**C**[2]	**D**[2]	**E**[2]		
การย่อยได้ของไขมัน	73.41	83.02	79.92	75.91	70.16	76.48 ± 5.12	6.68
การย่อยได้ของโปรตีน	74.82	68.91	59.49	65.98	61.81	66.20 ± 6.04	9.13
ME, kcal/kg	2415.70	2526.49	2558.00	2530.42	2276.10	2461.34 ± 117.0	4.75

หมายเหตุ [1]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออก
[2]โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
[3] ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
[4] สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

การปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราชนิดต่างๆ ในตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากทุกโรงงาน (ตารางที่ 13) มีปริมาณสารพิษจากเชื้อราน้อยมาก ซึ่งไม่เป็นอันตรายกับตัวสัตว์ อาจเนื่องจากทุกโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ เช่น หัวมันมีลักษณะสด มีการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังก่อนเข้ากระบวนการสกัดแป้ง และมีการตากแดด

กากมันสำปะหลังที่ผ่านการสกัดแป้งมา มีการเก็บรักษาในที่ไม่อับชื้น ดังนั้นกากมันสำปะหลังจึงมีปริมาณสารพิษจากเชื้อราน้อยมาก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ กานดา และคณะ (2546) และ อุทัย และสุกัญญา (2547) ที่กล่าวว่า การวิเคราะห์มันเส้นพบว่า ไม่มีสารพิษอะฟลาทอกซิน และการใช้มันเส้นเลี้ยงสัตว์ในระยะเวลาที่ผ่านมาพบว่าสัตว์ที่กินอาหารมันสำปะหลัง เจ็บป่วยหรือตาย เนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินน้อย จึงถือว่ามันเส้นที่ผึ่งแดดแห้งอย่างดีไม่มีสารพิษหรือสารขัดขวางโภชนะต่อสัตว์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดซึ่งมักมีสารอะฟลาทอกซินปนเปื้อน ซึ่งสารชนิดนี้ถูกทำลายได้ยาก มันสำปะหลังจึงมีข้อได้เปรียบในการใช้ทดแทนธัญพืชได้อย่างเต็มที่ สำหรับค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 5 โรงงาน (ตารางที่ 14) พบว่า ในสุกรระยะเล็ก มีค่าเฉลี่ยการย่อยได้ของไขมันและโปรตีนในกากมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 76.48 และ 66.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 6.68 และ 9.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังเท่ากับ 2,461.34 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 4.75 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่ามีความแปรปรวนของค่าการย่อยได้ของโภชนะที่ศึกษาในระดับที่สูง ทั้งนี้ความแปรปรวนที่เกิดขึ้น อาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะสายพันธุ์ อายุ และคุณภาพของหัวมันสำปะหลังสด อีกทั้งสภาพดินที่ปลูก วิธีการเก็บเกี่ยว และกรรมวิธีในการสกัดแป้ง (Sriroth *et al*., 1999) โดยพบว่ากระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแต่ละแห่งมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยแตกต่างกัน บางโรงงานจะผ่านกระบวนการไล่น้ำออกไป แล้วผ่านกระบวนการรีดน้ำอีกครั้งเพื่อแยกน้ำออก ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกากมันสำปะหลังในแง่การเก็บรักษาและมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานของ NRC (1998) พบว่า กากมันสำปะหลังมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 2.33 เมกะแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ค่าการย่อยได้ทั้งหมด 69.9 เปอร์เซ็นต์ ตลอดจนดินทรายที่เพิ่มขึ้นในมันสำปะหลัง จะทำให้ค่าที่ย่อยได้ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง บางโรงงานจะมีการร่อนทราย หรือเศษดิน ราก เหง้า ออกไปก่อน โดยวิธีการให้มันสำปะหลังเสียดสีกัน หลังจากนั้นล้างหัวมันสำปะหลัง โรงงานแต่ละแห่งก็มีขั้นตอนการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าระดับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จากแต่ละแห่งมีผลกระทบต่อการย่อยได้ของโภชนะ และค่าการใช้ประโยชน์ได้ และยังพบว่าการย่อยได้ของโปรตีนลดลง เมื่อมีระดับเยื่อใยในกากมันสำปะหลังมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามการรายงานของ Bowland (1972) ที่กล่าวว่าการย่อยได้ของโปรตีนจะลดลงตามระดับเยื่อใยที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่ในทางกลับกันการวิเคราะห์และคำนวณค่าการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังในการทดลองยังมีประสิทธิภาพการย่อยได้สูง เนื่องจากอาหารอยู่ในลำไส้นานมากขึ้น การย่อยได้ของโภชนะจึงสูงขึ้น ถึงแม้จะเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังจากโรงงานแต่ละแห่ง

มีความผันแปรในแต่ละโรงงาน อาจเนื่องจาก กรรมวิธีในการผลิต และสรีรวิทยาของตัวสัตว์ ย่อมมีผลต่อค่าการใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้ Reas (1996) ได้ทำการศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในมันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ ที่ส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร และในมูล พบว่า มันสำปะหลังมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานในระบบทางเดินอาหารได้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ มีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับมันสำปะหลัง และข้าวโพด ในส่วนของลำไส้ใหญ่ เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายถึง 77-82 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้การย่อยได้เหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารพลังงานสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Hang, 1998) ซึ่งสามารถใช้ทดแทนธัญพืชอื่นๆในสูตรอาหารได้ แต่ควรเลือกใช้กากมันสำปะหลังที่มีคุณภาพดีได้รับการทำความสะอาดและคัดเลือกสิ่งเจือปนออก ซึ่งส่งผลต่อโภชนะที่เหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังตลอดจนความสะอาด และการเก็บรักษาที่เหมาะสมเพื่อลดการปนเปื้อนของอนินทรีย์วัตถุและเชื้อรา ซึ่งหากกากมันสำปะหลังมีความแปรปรวนของคุณลักษณะต่างๆ สูง จะส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง

ดังนั้นจากข้อมูลลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของกากมันสำปะหลัง ที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีมาตรฐานการผลิตที่ดีทั้ง 5 แห่ง ในเขตภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าค่าการตรวจสอบที่ได้มีความแปรปรวน เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ข้างต้น ดังนั้น การนำผลพลอยได้มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ จะต้องมีการตรวจสอบลักษณะต่างๆ ก่อนนำไปคำนวณสูตรอาหารสุกรเพื่อให้ตรงตามความต้องการของตัวสุกร

การทดลองที่ 2

1. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาลต่อสมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 7 กิโลกรัม) ซึ่งมีค่าการวิเคราะห์อาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณในสูตรอาหาร ดังตารางที่ 15 สุกรได้กินอาหารกากมันสำปะหลังระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาถึงปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย ปรากฏผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 15 ผลของการวิเคราะห์อาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับต่างๆ

	ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%) อายุ 4-7 สัปดาห์				ปริมาณกากมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ (%) อายุ 7-9 สัปดาห์			
	0	**5**	**10**	**15**	**0**	**5**	**10**	**15**
ความชื้น	9.00	9.05	8.76	9.00	9.77	9.63	9.24	8.64
โปรตีน	21.99	22.15	21.67	22.10	20.29	19.91	20.41	20.23
เยื่อใย	3.37	3.68	4.06	4.17	3.93	3.87	4.15	4.50
ไขมัน	4.80	6.82	7.69	8.40	6.37	6.69	6.05	6.75
เถ้า	6.41	6.07	6.18	6.38	6.92	6.43	6.39	6.66
แคลเซียม	1.03	0.90	0.89	0.90	0.91	0.88	0.91	0.90
ฟอสฟอรัส	0.70	0.66	0.67	0.64	0.84	0.77	0.73	0.77
GE(kcal/kg)	4,639.62	4,627.22	4,650.78	4,674.69	4,545.99	4,575.04	4,591.21	4,524.47

ตารางที่ 16 สมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล (อายุ 4-9 สัปดาห์)

รายการ	**ระดับกากมันสำปะหลัง (%)**				**SE**	**P-value**
	0	**5**	**10**	**15**		
4-7 สัปดาห์						
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	7.53	7.55	7.58	7.61	-	-
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	13.40	12.99	13.11	13.27	-	-
ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัม)	493.8	487.0	515.9	481.2	10.83	0.7488
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม)	291.4	289.5	288.4	266.7	8.12	0.7331
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	1.68	1.69	1.78	1.81	0.04	0.2762
อัตราการตาย(%)	0	0	0	0	-	-
7-9 สัปดาห์						
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	13.40	12.99	13.11	13.27	-	-
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	19.92	19.79	19.98	19.63	-	-
ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัม)	898.5	892.8	882.1	881.2	20.10	0.9892
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม)	478.5	474.1	472.8	458.8	10.34	0.9093

ตารางที่ 16 (ต่อ)

รายการ	ระดับกากมันสำปะหลัง (%)				SE	P-value
	0	5	10	15		
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	1.89	1.87	1.86	1.92	0.02	0.7785
อัตราการตาย(%)	0	0	0	0	-	-
4-9 สัปดาห์						
น้ำหนักตัวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	7.53	7.55	7.58	7.61	-	-
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กิโลกรัม)	19.92	19.79	19.98	19.63	-	-
ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (กรัม)	684.6	662.7	659.0	653.9	11.02	0.8140
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม)	375.6	360.2	361.3	353.5	7.83	0.7536
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	1.83	1.84	1.83	1.86	0.02	0.9436
อัตราการตาย(%)	0	0	0	0	-	-

SE: ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์

ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อวัน พบว่า ปริมาณอาหารที่กินต่อวันของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 493.8, 487.0, 515.9 และ 481.2 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

อัตราการเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่ออัตราการเจริญเติบโต พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 291.4, 289.5, 288.4 และ 266.7 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร พบว่า ประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.68, 1.69, 1.78 และ 1.81 ตามลำดับ

อัตราการตาย

อัตราการตาย ผลการทดลอง พบว่า อาหารทดลองใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบอัตราการตายทั้งสุกรอนุบาลเพศผู้ตอนและสุกรอนุบาลเพศเมีย

ช่วงอายุ 7-9 สัปดาห์

ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อวัน พบว่า ปริมาณอาหารที่กินต่อวันของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 898.5, 892.8, 882.1 และ 881.2 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

อัตราการเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่ออัตราการเจริญเติบโต พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 478.5, 474.1, 472.8 และ 458.8 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร พบว่า ประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.89, 1.87, 1.86 และ 1.92 ตามลำดับ

อัตราการตาย

อัตราการตาย ผลการทดลอง พบว่า อาหารทดลองใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบอัตราการตายทั้งสุกรอนุบาลเพศผู้ตอนและสุกรอนุบาลเพศเมีย

ช่วงอายุ 4-9 สัปดาห์

ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อวัน พบว่า ปริมาณอาหารที่กินต่อวันของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 684.6, 662.7, 659.0 และ 653.9 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

อัตราการเจริญเติบโต

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่ออัตราการเจริญเติบโต พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 375.6, 360.2, 361.3 และ 353.5 กรัมต่อวัน ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้อาหาร

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังในอาหารสุกรอนุบาล ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร พบว่า ประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรอนุบาลที่ได้รับกากมันสำปะหลังในอาหารระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.83, 1.84, 1.83 และ 1.86 ตามลำดับ

อัตราการตาย

อัตราการตาย ผลการทดลอง พบว่า อาหารทดลองใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบอัตราการตายทั้งสุกรอนุบาลเพศผู้ตอนและสุกรอนุบาลเพศเมีย

จากการศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรอนุบาลครั้งนี้ เมื่อพิจารณาตลอดการทดลอง (อายุ 4-9 สัปดาห์) พบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อวัน อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้งนี้เนื่องจาก สูตรอาหารทุกกลุ่มได้มีการคำนวณให้มีปริมาณโภชนะเพียงพอ ตรงกับความต้องการของลูกสุกรในแต่ละระยะ และมีเยื่อใยในอาหารที่ไม่สูงเกินไป (15 เปอร์เซ็นต์) สุกรอนุบาลสามารถกินอาหารได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของสุกรในทุกกลุ่มการทดลองแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ประกอบกับมีการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จึงส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของอุทัย และคณะ (มมป.) ศึกษาผลของการใช้มันสำปะหลัง (มันเส้นสะอาด) เป็นอาหารลูกสุกรหย่านมอายุ 4-8 สัปดาห์ เปรียบเทียบการใช้ข้าวโพดและข้าวโพดเอ็กซ์ทรูด ปรากฏว่าลูกสุกรหย่านมที่ใช้ข้าวโพด ข้าวโพดเอ็กซ์ทรูด และมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงานหลักในสูตรอาหาร มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 482, 473 และ 493 กรัมต่อวัน และ

มีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 1.10, 1.07 และ 1.09 ตามลำดับ (P>0.05) มันสำปะหลัง (มันเส้นคุณภาพดีหรือมันเส้นสะอาด) สามารถให้สมรรถภาพการผลิตแก่ลูกสุกร ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดหรือข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดเป็นวัตถุดิบพลังงานแต่ประการใด สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจยิ่ง นอกจากนี้ สุดารัตน์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาผลการใช้กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือก ในสูตรอาหารลูกสุกรระยะหย่านมที่ใช้ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นหลัก พบว่าลูกสุกรหย่านมอายุ 4-8 สัปดาห์ ที่ใช้อาหารสูตรมันสำปะหลังมีสมรรถภาพการผลิตดีกว่าการใช้อาหารสูตรปลายข้าวล้วน ทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรหย่านมเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ทั่วไป แม้ว่ามันสำปะหลังที่ได้นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นมันเส้นจากการผลิตโดยลานมันทั่วไป ไม่ได้ผ่านการทำให้สุกก่อน แต่ลูกสุกรที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังไม่ได้มีการแสดงอาการท้องเสีย ทั้งนี้อาจมีผลมาจากแป้งในมันสำปะหลังย่อยได้ง่าย ลูกสุกรสามารถย่อยได้ดี จึงทำให้สัตว์มีสุขภาพดี

อุทัย และคณะ (2548) ได้ทำการใช้กากมันสำปะหลัง ในระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในสูตรอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง พบว่าแม่สุกรที่กินอาหารทดลองทุกสูตรไม่มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน จำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิต จำนวนลูกหย่านม น้ำหนักลูกแรกคลอด น้ำหนักลูกหย่านม และอัตราการตายหลังคลอดถึงหย่านม (P>0.05) กากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารแม่สุกรอุ้มท้องได้ และสามารถใช้ทดแทนในสูตรอาหารได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ เอกณรินทร์ และคณะ (2549) ศึกษาการทดแทนปลายข้าวด้วยกากมันสำปะหลัง และกากตะกอนเบียร์ในสูตรอาหารที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซาก ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง ความหนาไขมันสันหลัง ความลึกเนื้อสัน และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน ไม่แตกต่างจากสุกรที่ได้รับอาหารสูตรปลายข้าว (P>0.05) อีกทั้งอนุชา และคณะ (2543) ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังระดับ 0, 24, 34 และ 43 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ทดแทนปลายข้าว ในสุกรหย่านมอายุ 4-8 สัปดาห์ พบว่าระดับมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (P>0.05) ของสุกรเมื่อสูตรอาหารมีการปรับสมดุลโภชนะตามความต้องการของสุกรสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับ Wu (1991) ได้ศึกษาการใช้มันเส้นในอาหารสุกรหย่านมที่ระดับ 0, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอาหารที่กินและอัตราการแลกเนื้อในการเสริมมันเส้นที่ระดับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารให้ผลดีกว่าสุกรในกลุ่มอาหารควบคุม อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราส่วนของ

กากมันสำปะหลังในอาหารส่งผลให้ระดับเยื่อใยของอาหารสูงขึ้นตามระดับของกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ลูกสุกรมีการกินอาหารที่ด้อยลงเป็นลำดับ ดังนั้นการใช้กากมันสำปะหลังในสุกรระยะอนุบาลที่เกินกว่าระดับที่ศึกษาในครั้งนี้ควรเพิ่มความระมัดระวังในเรื่องปริมาณเยื่อใยในอาหารและปริมาณการกินอาหารของสุกรเป็นสำคัญ การมีปริมาณเยื่อใยในอาหารสูงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารด้อยลง เนื่องจากมีการดูดน้ำในระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหารเข้าไปมาก ทำให้อาหารเคลื่อนที่เร็วการย่อยได้จึงต่ำลง อีกทั้งอาหารมีการพองตัวในทางเดินอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง (อุทัย, 2529) นอกจากนี้มันสำปะหลังที่ตากแห้งมีลักษณะฟ่ามเบา (ความหนาแน่นต่ำ) ดังนั้นการกินอาหารที่มีเยื่อใยสูง จะทำสัตว์รู้สึกอิ่มเร็ว อีกทั้งสัตว์มีความจุของกระเพาะจำกัดจึงอาจได้รับโภชนะจากอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีตามปกติได้ (สาโรช, 2547 และ Jordan, 1983) ตลอดทั้งเมื่อถูกบดป่นก็จะเป็นฝุ่นฟุ้ง ซึ่งก่อให้เกิดระคายเคืองแก่นัยน์ตาและระบบทางเดินหายใจของสัตว์ได้ ทำให้ลักษณะอาหารมีความน่ากินลดลง ซึ่งปริมาณการกินอาหารที่ลดลงส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ด้อยลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้มันสำปะหลังระดับสูงมาก (60-70 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร) ให้ผลดีทัดเทียมกับการใช้ข้าวโพดเป็นหลักในสูตรอาหาร แต่จำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขลักษณะทางกายภาพของอาหารโดยการเสริมด้วยโภชนะที่จำเป็นและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากอาหารมันสำปะหลังมีความหนาแน่น และความน่ากินต่ำ สุกรจึงอาจได้รับโภชนะไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติ (สาโรช, 2547; Wyllie and Lekule, 1980; Jordan, 1983 and Sonaiya and Omole, 1983)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของกากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพทั้ง 5 แห่ง ในเขตภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความผันแปรด้านลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีในระดับที่สูง มีการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และโปรตีน เท่ากับ 76.48 และ 66.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังประมาณ 2,461 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมในสุกรน้ำหนัก 25 กิโลกรัม และไม่พบการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราในกากมันสำปะหลัง ระดับกรดไซยานิคในกากมันสำปะหลังจากทั้ง 5 โรงงาน อยู่ในระดับที่ปลอดภัยในการนำมาประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสุกร

2. การใช้กากมันสำปะหลัง 15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารสุกรอนุบาล ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรอนุบาล จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของกากมันสำปะหลัง โดยเฉพาะการตรวจสอบการปนเปื้อนของดิน ทราย เหง้าและลำต้นของกากมันสำปะหลังเป็นอย่างดี เพราะกากมันสำปะหลังคุณภาพต่ำจะมีผลต่อเยื่อใยที่เพิ่มขึ้น สัตว์กระเพาะเดี่ยวใช้ประโยชน์ได้ไม่ดี ทำให้คุณภาพของอาหารต่ำลง

2. การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารสุกรอนุบาล ควรต้องมีการเสริมไขมันกากน้ำตาล หรือการอัดเม็ด ตลอดจนการให้อาหารควรมีการกระตุ้นการกิน โดยผสมน้ำหมาดๆ ในอาหาร จะเป็นวิธีที่ช่วยทำให้ลูกสุกรกินอาหารได้ดีขึ้น และมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และยังช่วยลดความฟ่าม และความเป็นฝุ่น

3. จากงานวิจัย พบว่า เมื่ออาหารมีระดับกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมากขึ้น ปริมาณเยื่อใยจะสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ลูกสุกรยังมีปริมาณการกินอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นกากมันสำปะหลังจึงสามารถนำไปประกอบสูตรอาหารในปริมาณที่มากกว่าที่ได้ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสามารถใช้วิธีการอัดเม็ดอาหาร หรือการใช้เอนไซม์ NSP degraded enzyme ช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพและชีวภาพในสูตรอาหารลูกสุกร

4. การใช้กากมันสำปะหลังสามารถช่วยลดราคาค่าอาหารในการเลี้ยงสุกรอนุบาลลงได้ พบว่า ค่าอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีราคาอยู่ระหว่าง 13-17 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งการประกอบสูตรอาหารสุกรอนุบาลทั่วไปจะมีราคาอยู่ระหว่าง 25-30 บาทต่อกิโลกรัม (เมษายน 2551)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป**. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. **เทคโนโลยีของแป้ง**. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับริเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

กรมการค้าต่างประเทศ. 2547. **ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง การส่งออก-นำเข้า**. มันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: http://www.dft.moc.go.th/level4Frame.asp?sPage=the_files /$$8/level4/dis_export.html&level4=356, 11 พฤศจิกายน 2550.

กานดา พันสุรินทร์, อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับพีเอช ปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้เล็กสุกรระยะรุ่น และในมูลสุกรระยะขุน *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 41 (สาขาสัตว์แพทย์และประมง)** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุสาหกรรมการแปรรูป และ การใช้ประโยชน์**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิราภรณ์ โล่ห์วงศ์วัฒน. 2525. **การผลิตกรดซิตริกจากกากมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อ *Aspergillus niger*.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชวนิศนดากร วรวรรณ, ม.ร.ว. 2500. **หลักการอาหารสัตว์**. หนังสือประกอบการบรรยาย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทวี แก้วคง. 2522. **โภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้น และ การให้อาหารสัตว์.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นิรนาม. 2547. **วิกฤตอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง นโยบายรัฐอยู่เหนือเหตุผล?**. อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: http://www.nidambe11.net/ekonomiz/2004q4/article 2004dec17p7.htm, 11 พฤศจิกายน 2550.

ปิตุนาถ หนูแสน. 2547. **การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแห่งพลังงานในอาหารข้นต่อการให้ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พรทิมล ตนสิงห์. 2551. **ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พาพร ตันตระรัตนะ, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ วิไล สันติโสภาศรี. 2546. การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดเป็นอาหารสุกรระยะรุ่น และระยะขุน ทั้งที่มีการเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 (สาขาสัตวแพทย์และประมง).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิชัย สราญรมย์. 2528. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมันสำปะหลัง สำหรับการศึกษาระดับปริญญา** คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และ วิศิษฐิพร สุขสมบัติ. 2549. **กากมันสำปะหลังกับการใช้ประโยชน์ในอาหารโคนม**. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ มหาวิทยาลัยสุรนารี, นครราชสีมา.

ไพรัตน์ แซ่ลิ้ม, อุทัย คันโธ และ เนรมิต สุขมณี. 2534. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกรอุ้มท้องและเลี้ยงลูก *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 29 (สาขาสัตวแพทย์และประมง)** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. 2550. **ปีทองมันสำปะหลัง**. มันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: www.afet.or.th/thai/corporate/commodityshow, 7 พฤศจิกายน 2550.

สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์. 2546. **โอกาสในการส่งออกมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการเลี้ยงสัตว์ในประเทศแอฟริกา**. สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์. แหล่งที่มา: http://www.dft.moc.go.th/the_files/$$16/level4/south_africa.htm, 11 พฤศจิกายน 2550.

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2550. **มันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: http://www.tapiocathai.org/ttsa/aboutus/aboutus2.htm, 11 พฤศจิกายน 2550.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง** ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

_____, และ เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2531. **การใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกร เป็ด และไก่**. ชุมนุมสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกร จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **มันสำปะหลังเผยอนาคตสดใส**. มันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: www.oae.go.th/AgroMag/Public/NewsReleaseShow.php?newsID=20060731125701-8k, 7 พฤศจิกายน 2550.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ วราพันธุ์ จินตณวิชญ์. 2550. กากแป้งมันสำปะหลังตัวช่วย ลดต้นทุน. **สุกรสาส์น**. 33 (131): 31-34.

สุกัญญา ทิมทอง. 2546. **ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากสุกรรุ่น-ขุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุดารัตน์ สุภาพ, อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. ผลการใช้กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกในสูตรอาหารลูกสุกรหย่านมที่ใช้ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นหลัก *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42**, วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2547. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

เสกสม อาตมางกูร. 2550. ดร.เสกสม แนะคนเลี้ยง เร่งลดต้นทุน ช่วงข้าวโพดราคาแพง. **สัตว์เศรษฐกิจ** 24 (559): 14-17.

อนุชา ชลอกลาง. 2544. **การใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____, อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2543. การใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวในอาหารสุกรระยะหลังหย่านม *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 38 (สาขาสัตวแพทย์และประมง)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อโณชา เลาศรีรัตนชัย. 2529. **การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารหนู และสุกรระยะเจริญเติบโต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ มูลธง, ชนินทร์ ติรวัฒนวานิช, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ วิไล ตันติโสภาศรี. 2549. ผลของการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันในสุกร. *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 44 (สาขาสัตว์แพทย์และประมง)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก.** ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2550. รศ. อุทัย แนะเทคนิคใช้มันสำปะหลังแทนข้าวโพด ช่วยลดต้นทุนผลิตไข่ไก่. **สัตว์เศรษฐกิจ** 24 (558): 25-29.

_____, และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ ไพฑูรย์ มูลจิตร. 2548. การใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกรอุ้มท้องและเลี้ยงลูก *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 43 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. ม.ป.ป. **การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบ ข้าวโพดเอ็กซ์ทรูดในสุกรหลังหย่านม**. แหล่งที่มา: www.tapiocafeed.com, 25 ตุลาคม 2550.

เอกณรินทร์ รองราม, อังคณา หาญบรรจง และ จำเริญ เที่ยงธรรม. 2549. การทดแทนปลายข้าวด้วยกากมันสำปะหลังและกากตะกอนเบียร์ในสูตรอาหารสุกรรุ่น-ขุน *ใน* **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 45 (สาขาสัตว์แพทย์และประมง).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

Balagopalan, C., G. Padmaja, S.K. Nada, and S.N. Moorthy. 1988. **Cassava in food, feed and industry**. CRC Press, Inc., Florida. 250 p.

Beynum, G.M.A. and J.A. Roels. 1985. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker Inc., New York.

Bolin, D. W, R. P. Ring and E. W. Klosterman. 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr_2O_3) when used as an index substance. **Science** 116: 634-635.

Bowland, J. P. 1972. Unprocessed repseed treated with propionic acid in diet of growing pig: performance, energy and protein, digestibility and nitrogen retention, carcass measurement, and fatty acid composition of backfat. **Can. J. Anim. Sci**. 52: 553

Chakrit, R. 2000. **Thailand promotes greater use of cassava**. Asian Pork Magazine. June-July. 150: 26-31

Cheeke, P.R. and L.R. Shull. 1985. **Natural Toxicants in Feed and Poisonous Pant**. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Conecticut.

Collens, A.E. 1915. Bitter and sweet cassava-hydrocyanic contents. *In* **Bull. Agri. Trim. Tob**. 14: 54.

Conn, E.E. 1994. Cyanogenesis-A personal perpective, pp. 31-44. *In* M. Bokanga, A.J.A. Essers, N. Poulter, H. Roslting and O. Tewe, eds. **Acta Hoticulturae: International Workshop on Cassava Safety.** Ibadan, Nigeria.

Defloor, I., I. Dehing, Leuven, and J.A. Decour. 1998. **Physico-chemical properties of Cassava starch**. *In* Starch/Starke. 50 (2-3): 58-64.

Ekanayake, I.J. and M. Bokanga. 1994. A review on production agronomy and cyanogenesis. *In* CIAT. **The cassava biotechnology network Vol. II**. Proceeding of the second international scientific meeting, Bogor, Indonesia, 22-26 August. 548-563.

Go'mez, G., M. Valdivieso, L.E. Zapata and C. Pardo. 1984. Techical note: Cyanide elimination, chemical composition and evaluation in breadmaking of oven dried cassava peeled root chips or slices. *In* **J. of Food Tech**. 19: 493-498.

Grace, M.R. 1977. **Cassava Processing**. FAO Plant Production and Processtion Siries No. 3 FAO, Rome. 156 p.

Hang, D.T. 1998. Digestibility and nitrogen in fattening pigs fed different levels of ensiled cassava as a protein source and ensiled cassava root as energy source. **Livestock Research for Rural Development** 10 (30).

Hughes, M. A., J. hughes, S. Liddle and Z.Keresztessy. 1994. Biochemistry and molecular biology of cyanogenesis. *In* กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง**. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Jordan, K. 1983. Manioc in livestock feeds. **Feed Comp**. (Jan): 6-11

Ketiku, A.O. and V.A. Oyenuga. 1972. Changes in the carbohydrate constituents of cassava root-tuber (*Manihot utilissima* Pohl) during growth. *In* **J. Sci. Food Agric**. 23: 1451-1456.

Lim, H. K. 1967. **Use of root crop as animal feed. Cassava**. Available Source: http//www. Fao.org/inpho/vlibrary/t0207e/T0207Eob.html, May 21, 2007

Nartey, F. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (Manihot spp.), pp. 73-87. *In* Nestel, B. and R. MacIntyre (eds.). **Chronic Cassava Toxicity**. Int. Develop. Res. Center, IDRC. Ottawa, Canada.

National Research Council. 1998. **Nutrient Requirements of Swine**, 10th Revised Edition, National Academy Press, Washington, DC.

Nitipot, P., and K. Sommart. 2003. **Chemical and nutrient composition of cassava pulp and cassava peel by vitro gas production technique**. Annual Report. Animal Science Department. Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.

Oke, O.L. 1978. Problem in the use of cassava as animal feed. **Anim. Feed Sci. Tech**. 3: 345-380.

Pinuliar, S. P. 1993. **A comparative study of cassava refuse meal and rice bran as feeds for growing and fattening pigs**. The Phiippine Agriculturist. 29: 611-615.

Preston, R. L. 2002. **Typical composition of commonly used feeds for sheep and cattle**. Source Available: URL. http:// www. vcn. Vnn, November 1, 2007

Reas, B. P. 1996. **A study on the comparative digestibility of cassava, maize, sorghum and barley in growing pigs**. Master of Veterinarry Studies Thesis, University of Queenland, Australia.

Santisopasri, V., K. Kurotjanawong, S Chotineeranat, K. Piyachomkwan, Sriroth, K., and C. G. Oates. 2001. Impact of water stress on yield and quaility of cassava starch. *In* **Industrail Crops and Products**. 13: 115-129.

Sonaiya, E. B. and T. A. Omole. 1983. Cassava meal and Casssava peel meal in diets for growing pigs. **Anim. Feed. Sci. Tech**. 8: 211-220.

Sriroth, K., V. Santisopasri, C. Petchalanuwat, K. Kurotjanawong, and C. G. Oates. 1999. Cassava starch granule structure-function properties: Influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. *In* **Carbohydrate Polymers**. 38 (2): 161-170.

_____, K. Piyachomkwan, S. Wanlapatit, and C. G. Oates. 2000. **Cassava starch technology**: The Thai experimence. *In* Starch/Starke. 52: 439-449.

Teerapatr, S., K. Lerdluk and S. La-aied. 2006. Approach of Cassava Waste Pretreatments for Fuel Ethanol Production in Thailand**. J. Sci. Res. Chula. Univ**. 31: 78-84.

Tesfa, A. 2006. **Livestock management in developing country**. Source Available: URL. http:// honeybee. Helsinki. fi/ mmeko/ KURSSIT., November 3, 2007.

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

Wu, J. F. 1991. Enery of cassava for young swine. **J. Anim. Sci**. 69: 1349-1359

Wyllie, D. and F. P. Lekule. 1980. Cassava and molasses for fattening pigs under village condition in Tanzania. **Trop. Agri**. (trinidad). 57: 267-275.

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูล

อุปกรณ์

1. เตาย่อย (kjeldahl apparatus)
2. เจดาห์ฟลาสค์ (kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 100 และ 1000 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง (funnel)
5. กระดาษกรอง (filter paper) เบอร์ 40
6. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย (spectrophotometer)

สารเคมีที่ใช้

1. สารโซเดียมโมลิบเดท (sodium molypdate : $Na_2MoO_4.2H_2O$)
2. กรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์
3. กรดเปอร์คลอริค ($HCLO_4$) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

สารออกซิไดซิงรีเอเจนต์ (oxidizing reagent)

ชั่งโซเดียมโมลิบเดท (sodium molybdate) 23.50 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน่ำกลั่น 300 มิลลิลิตร นำไปวางลงในอ่างน้ำเย็น จากนั้นค่อยเติมกรดซัลฟุริก(H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ 300 มิลลิลิตร แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร (พัก 5-10 นาที แล้วค่อยใส่ครั้งต่อไป) โดยค่อยๆเทลงตามขอบของขวดวัดปริมาตร เสร็จแล้วเติมกรดเปอร์คลอริค ($HCLO_4$) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์ 400 มิลลิลิตร แบ่งใส่ครั้งละ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่างใส่เจดาห์ฟลาส์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างอาหาร 1.5 กรัม และชั่งตัวอย่างมูล 0.5 กรัม

1.2 เติมออกซิไดซิงรีเอเจนต์ 12 มิลลิลิตร

1.3 นำไปย่อยบนเตาย่อยด้วยไฟปานกลางจนสารเป็นสีเหลืองหรือสีส้มและมีไอน้ำเกาะบริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่จึงนำอกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

1.4 เติมกรดเปอร์คลอริค 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยต่ออีกครั้งจนปรากฏไปน้ำบริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่จึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

2. ขั้นตอนปรับปริมาตร

เทสารละลายที่ได้จากการย่อยลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ฉีดล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

3. ขั้นตอนการกรอง

กรองสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้วด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

4. ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสง

นำสารละลายที่กรองแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank ให้เป็นศูนย์ด้วยการ set auto zero

5. ขั้นตอนการคำนวณ

จากวิธีการดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในตัวอย่างอาหารและมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการนี้

$$\text{ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์} = \frac{A \times EF \times mlAl \times 1000}{1000 \times W}$$

A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

mlAl = ปริมาตรของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนปรับปริมาตร

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ย่อย

$$EF = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครมิกซ์ออกไซด์ระดับต่างๆ (จากการทำ standard curve)}}{\text{ค่าการดูดกลืน}}$$

หมายเหตุ: (ค่า EF โดยปกติมีค่า 389-400 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Bolin *et al*., 1952)

การวิเคราะห์แป้ง

Blank

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ ประมาณครึ่ง flask เขย่าแรงๆ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
3. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
4. นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
5. ไปเปตสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เติม HCl 25 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ
7. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นให้ตัวอย่างเย็น ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
8. เติม Sodium Phosphotumgstate 4 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร
9. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
10. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
11. นำส่วนใส มาวัดค่า α'

การย่อยตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ flask 100 มิลลิลิตร

2. เติม HCl 1.128 เปอร์เซ็นต์ 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ และเติม HCl 1.128 เปอร์เซ็นต์ อีก 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ

3. นำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที (ทำเหมือนขั้นตอนที่ต้ม Blank ทุกประการ)

4. นำส่วนใสมาวัดค่า α

การคำนวณ

$$C = \frac{\alpha - \alpha'}{[\alpha]\ D\ 20° \times L} \times 100$$

α = ค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง

α' = ค่าที่วัดได้จาก Blank

$[\alpha]\ D\ 20°$ = 184.0 (ใช้ค่าทั่วไป)

L = ความยาวหลอดวัด (dm.)

$$\text{เปอร์เซ็นต์แป้ง} = \frac{C \times 100}{W}$$

W = น้ำหนักตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณทราย

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnance)
2. ถ้วยเผา (crucible)
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. ตู้อบ (oven)
5. เครื่องชั่ง
6. กระดาษกรองเบอร์ 40
7. กรวย (funnel)
8. Erlenmeyer flask

สารเคมี

1. HCl 10 N
2. HCl 2 N

วิธีการ

1. หาน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยเผา (ล้างถ้วยเผาให้สะอาดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°-600°C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ทำจนได้น้ำหนักคงที่)

2. ชั่งตัวอย่างอาหารที่บดละเอียด ประมาณ 2-5 กรัม ใส่ลงในถ้วยเผา (ที่รู้น้ำหนักแน่นนอน)

3. นำไปเผาให้หมดควันบน hot plate ในตู้ดูดควัน (hood)

4. นำถ้วยเผาเข้าเผาต่อในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 550°-600°C นานประมาณ 5-12 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้เถ้าที่สมบูรณ์ ไม่มีส่วนที่เป็นสีดำเหลืออยู่ (ระยะเวลาที่ใช้เผาขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณตัวอย่าง)

5. นำถ้วยเผาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

6. เติม HCl 10 N จำนวน 3-4 ml ลงไปในเถ้า นำไประเหยให้แห้งบน Hot plate โดยใช้ไฟอ่อนๆ (เพื่อกันการกระเด็นของกรด) นานประมาณ 1 ชั่วโมง

7. เติม HCl 2 N จำนวน 20-25 ml ต้มต่อไปนานประมาณ 5-10 นาที

8. นำมากรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 40 ใช้น้ำกลั่นที่ต้มให้ร้อนล้างตะกอนจนหมดกรด (ทดสอบดูโดยใช้กระดาษลิทมัส)

9. นำกระดาษกรองใส่ลงในถ้วยเผาใบเดิม อบให้แห้งในถ้วย และเผาให้หมดควันก่อนแล้วจึงนำไปเผาในเตาเผา 550°-600°C นาน 30 นาที นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

ขั้นตอนการคำนวณ

$$\%AIA = \frac{(C - B) \times 100}{W}$$

C = น้ำหนักถ้วยเผา+AIA
B = น้ำหนักถ้วยเผา
W = น้ำหนักตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาความหนาแน่น

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. cylinder ขนาด 100 ml.
3. กระดาษทำเป็นกรวย

วิธีการ

1. นำ cylinder ขนาด 100 ml. มาวางบนเครื่องชั่ง
2. Set เครื่องชั่งให้มีค่าเท่ากับศูนย์
3. เทวัตถุดิบลงใน cylinder ขนาด 100 ml. จนได้ปริมาตร 100 ml. (ห้ามเขย่า)
4. บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้

ขั้นตอนคำนวณ

$$D\ (g/cm^3) = \frac{M}{V}$$

การคำนวณ

การย่อยได้

เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ปรากฏของโภชนะ

$$100 - 100 \left\{ \frac{\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \%\ \text{โภชนะในมูล}}{\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \%\ \text{โภชนะในอาหาร}} \right\}$$

พลังงานใช้ประโยชน์ได้

พลังงานทั้งหมดที่สัตว์กิน – พลังงานในมูลทั้งหมด – พลังงานในปัสสาวะทั้งหมด

ภาพผนวกที่ 1 ตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากโรงงานต่างๆ

ภาพผนวกที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ โดยกรงเมแทบอลิก

ภาพผนวกที่ 3 ศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรอนุบาล

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ–นามสกุล	นางสาววริยา โกสุม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	8 ตุลาคม 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี พ.ศ. 2549
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-