



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตว์บาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิต และ
ลักษณะซากของไก่เนื้อ

Effect of Cassava Pulp on Physical Characteristic of Feed, Broiler Performance and
Carcass Trait

นามผู้วิจัย นางสาวปรีดา คำศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรประพันธ์ ส่งเสริม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร
สมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของไก่เนื้อ

Effect of Cassava Pulp on Physical Characteristic of Feed,
Broiler Performance and Carcass Trait

โดย

นางสาวปรีดา คำศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2552

ปริดา คำศรี 2552: ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิต และ
ลักษณะซากของไก่เนื้อ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D. 88 หน้า

การศึกษาผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหารสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของ
ไก่เนื้อ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพและชีวภาพของ
ตัวอย่างกากมันสำปะหลัง ผลจากการทดลอง พบว่ากากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีระดับโปรตีนและไขมันต่ำแต่มีเยื่อ
ใยสูง อย่างไรก็ตามพบว่ากากมันสำปะหลังยังมีแป้งอยู่ประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณไขมันในปริมาณต่ำ ซึ่ง
คาดว่าจะสามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทางเลือกได้ กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นและมูกองต่ำมี
การปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราในปริมาณต่ำ ผลจากการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลังในไก่เนื้อ
พบว่ากากมันสำปะหลังมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ (AME_N) ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนและไขมัน
มีค่าเท่ากับ 2363.04 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม 62.19 และ 93.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งนับว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้
ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้ของ
โภชนะลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ โดยแบ่งอาหารทดลองออกเป็น 6
สูตร คือ สูตรอาหารผงที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 0.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (T1, T2 และ T3 ตามลำดับ) และสูตรอาหาร
อัดเม็ดที่มีระดับกากมันสำปะหลัง 0.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (T4, T5 และ T6 ตามลำดับ) ทำการศึกษาค่าการย่อยได้แบบ
ปรากฏของโภชนะในอาหารทดลอง โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุ 21 วัน จำนวน 360 ตัว แบ่งออกเป็น 6
กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ตัว ใช้แผนการทดลองแฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ ผลการทดลอง ไม่พบอิทธิพลร่วมของ
ระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนและไขมัน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์
ได้แบบปรากฏของอาหารทดลอง การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ในสูตรอาหารไก่เนื้อส่งผลให้ค่าการย่อยได้แบบ
ปรากฏของโภชนะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนอาหารอัดเม็ดส่งผลให้ค่าการย่อยได้แบบปรากฏ
ของโปรตีนและไขมัน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารทดลองสูงกว่าอาหารผง ($P < 0.05$) การศึกษาผล
ของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารในสูตรอาหารต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิตและ
ลักษณะซากของไก่เนื้อ พบว่าสูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ มีความหนาแน่นและมูกองน้อยกว่ากลุ่มที่
ไม่ใช้กากมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับการศึกษาด้านระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบ
อาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่นั้นนั้นใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุแรกเกิด จำนวน 1800 ตัว
แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ (เพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ) แต่ละซ้ำมี 50 ตัว ใช้แผนการทดลองแฟคทอเรียลแบบสุ่ม
สมบูรณ์ภายในบล็อก โดยไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองสูตรเดียวกับการหาค่าการย่อยได้ของสูตรอาหาร จากการทดลองไม่
พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมและลักษณะซาก ($P > 0.05$)
ไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-17 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ทั้งระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และในช่วงอายุ 18-38 และ
39-45 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต
โดยรวม และลักษณะซากของไก่เนื้อ ($P > 0.05$) และไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดส่งผลให้มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณ
อาหารที่กิน และเปอร์เซ็นต์ซากคึกว่าการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารผง ($P < 0.05$)

Preeda Kumsri 2009: Effect of Cassava Pulp on Physical Characteristic of Feed, Broiler Performance and Carcass Trait. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Yuwares Ruangpanit, Ph.D. 88 pages

A series of experiment were conducted to study the utilization of cassava pulp in broiler diet. Experiment 1 was conducted to determine chemical, physical and biological characteristics of cassava pulp. The represent cassava pulp had low protein and fat content but high in fiber. The starch content was 47 %. This cassava pulp had 1.66 ppm hydrogen cyanide and had low contamination of mycotoxin. Apparent metabolizable energy (AME_n) apparent nitrogen retention (ANR) and apparent fat digestibility (AFD) of cassava pulp were 2363.04 Kcal/kg, 62.19 and 93.16 % respectively. Experiment 2 was conducted to determine effect of cassava pulp and feedform on nutrient digestibility, physical characteristic of diet, broiler performance and carcass trait using the factorial in completely randomized design. The dietary treatments were diet containing cassava pulp 0, 5 and 10% in mash form (T1, T2 and T3) and diet containing cassava pulp 0, 5 and 10% in pellet form (T4, T5 and T6). Three hundred Ross-308, 21 day of age, were divided into 6 treatments. Each treatment consisted of six replications with 10 broilers per replication. Results indicated that there was no interaction of diet on ANR, AFD and AME_n of experimental diets ($P>0.05$). The level of cassava pulp had no significant effect on nutrient digestibility ($P>0.05$). However birds received pellet feed had significant higher nutrient digestibility than those of birds consumed mash feed ($P<0.05$). Diet containing cassava pulp had significant lower bulk density and angle of repose than that of the group containing 0% cassava pulp ($P<0.05$). For broiler performance and carcass trait measurment, one thousand and eight hundred Ross-308, 1 day of age, were divided into 6 treatments. Each treatment consisted of six replications (3 males and 3 females) with fifty broilers per replication. The dietary treatments were as in nutrient digestibility experimental. There was no interaction effect of cassava pulp level and feed form on overall broiler performances and carcass trait. Cassava pulp could be incorporated up to 5% in starter diet and 10% in grower and finisher diet with no detrimental effect on overall broiler performance and carcass trait ($P>0.05$). However birds received pellet feed had higher weight gain, feed intake and carcass trait than that of birds consuming mash feed ($P<0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพันธ์ ส่งเสริม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐชนก อมรเทวภัทร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษาและคำแนะนำในด้านการทดลองอย่างใกล้ชิด ตลอดจนการเขียนรายงานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ และอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก และศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตผลจากสัตว์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในการเลี้ยงและชำแหละซาก ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท ที่มีน้ำใจช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่อ่อนงศ์ คำศรี มารดาซึ่งได้ล่วงลับไปแล้ว คุณพ่อจิตร คำศรี บิดาที่รักยิ่งและทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา และคุณณัฐวุฒิ ทองวิไล เพื่อนสนิทที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปรีดา คำศรี

มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	44
สรุป	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษา	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณค่าทางโภชนาะ ของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น	6
2 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	8
3 ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2544-2551	14
4 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	18
5 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ	18
6 ความสัมพันธ์ของอัตราการเคลื่อนที่และมุมกอง	24
7 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลอง	30
8 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของฟาร์มิกซ์ไวตามิน-แร่ธาตุ	31
9 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 1-17 วัน	41
10 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 18-38 วัน	42
11 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 39-45 วัน	43
12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาะของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	45
13 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง	46
14 ผลการตรวจสอบชนิดของเชื้อราของกากมันสำปะหลัง	47
15 ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนาะของกากมันสำปะหลัง	48
16 ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนาะของอาหารทดลอง	50
17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาะของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 1-17 วัน	51
18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาะของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 18-38 วัน	52
19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาะของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 39-45 วัน	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร	53
21	ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ อายุ 1-17 วัน	59
22	ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ อายุ 18-38 วัน	60
23	ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ อายุ 39-45 วัน	61
24	ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ อายุ 1-45 วัน	62
25	ผลของระดับกากมันสำปะหลัง และรูปแบบอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ	64
26	ผลของระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะซากไก่เนื้อ	65
27	ผลของรูปแบบอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ	66

ตารางผนวกที่

1	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลัง	84
2	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหาร	85
3	ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนที่ใช้ในการเลี้ยงไก่เนื้อ 1-45 วัน	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของอะไมโลส	7
2	โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	8
3	การสลายตัวของสารพิษดินามารินและไลทอสตราลิน	13
4	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	17

**ผลการใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร
สมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของไก่เนื้อ**

**Effect of Cassava Pulp on Physical Characteristic of Feed,
Broiler Performance and Carcass Trait**

คำนำ

จากการที่แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงมีราคาที่สูงขึ้นมาก ส่งผลให้วัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มที่ให้พลังงานบางชนิดถูกนำไปใช้ในการผลิตแหล่งพลังงานทดแทน เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง ส่งผลให้มีการแข่งขันการบริโภควัตถุดิบอาหารพลังงานระหว่างมนุษย์และสัตว์เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจปศุสัตว์จำเป็นต้องแสวงหาแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใหม่ๆ ที่มีราคาไม่แพง สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีศักยภาพในการนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้ เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารพลังงาน

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปัจจุบันได้มีการนำมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารสัตว์มากขึ้น ทำให้มีการปลูกมันสำปะหลังกันมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เหมาะสมกับการใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ ได้เป็นอย่างดีและมีราคาไม่แพง ปัจจุบันมันสำปะหลังถูกนำมาใช้ทำผลผลิตหลายอย่าง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง มันสำปะหลังอัดเม็ด และมันเส้นเลี้ยงสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง นอกจากจะได้แป้งมันสำปะหลังเพื่อการบริโภคของมนุษย์แล้ว ยังมีผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ กากมันสำปะหลัง เนื่องจากกากมันสำปะหลังยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการ เพราะมีองค์ประกอบของแป้งในสัดส่วนที่สูง อีกทั้งยังมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวโพด และปลายข้าว ซึ่งจะสามารถช่วยในการลดต้นทุนการผลิตได้

อย่างไรก็ตามการใช้กากมันสำปะหลังในการประกอบสูตรอาหารอาจมีข้อจำกัด เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีลักษณะฟาม เบา และมีปริมาณเยื่อใยอยู่สูง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของสุกรและสัตว์ปีก หากใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของกากมันสำปะหลังในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ปีก

โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทางชีวภาพและกายภาพในอาหารไก่เนื้อที่ใช้สูตรอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารและศึกษาระดับกากมันสำปะหลังที่แตกต่างกันที่ใช้ในสูตรอาหารไก่เนื้อ และศึกษารูปแบบอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้งในรูปอาหารผงและอาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ดต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก เพื่อเป็นข้อมูลให้กับโรงงานผู้ผลิตอาหารสัตว์และเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่เนื้อ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคูณลักษณะทางเคมี กายภาพ และทางชีวภาพของกากมันสำปะหลังในการนำมาใช้เป็นอาหารไก่เนื้อ
2. ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อคุณลักษณะทางกายภาพของอาหาร ได้แก่ ความหนาแน่น และมูมกองของอาหาร
3. ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับแตกต่างกันและรูปแบบอาหารทั้งอาหารผงและอาหารที่ผ่านกระบวนการอัดเม็ด ต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ

การตรวจเอกสาร

ลักษณะโดยทั่วไปของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. เรียกกันทั่วไปว่า cassava, mandioca, tapioca และ yacca (เจริญศักดิ์, 2532; คณัย, 2537) เป็นพืชที่จัดได้ว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและพลังงานที่สำคัญ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา โดยเฉพาะอเมริกาใต้ มันสำปะหลังเป็นพืชหัวที่มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจ ปัจจุบันเป็นพืชที่ปลูกมากในอเมริกาใต้ อเมริกากลาง แอฟริกา และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งประเทศไทยด้วย โดยได้มีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้ (Lancaster *et al.*, 1982)

Order	:	Geraniales
Class	:	Dicotyledonase
Family	:	Euphorbiaceae
Genus	:	Manihot
Species	:	Esculenta

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของมันสำปะหลัง

สุกัญญา (2539) รายงานว่าส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของมันสำปะหลังนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละแหล่งผลิต โดยทั่วไปแล้วมันสำปะหลังที่ใช้ในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ปัจจุบันอยู่ในรูปของมันเส้นและมันอัดเม็ด ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมในการคัดเลือกนำมาใช้ประกอบอาหารสัตว์โดยทั่วไปควรมีลักษณะดังนี้

ความชื้นไม่เกิน	14	เปอร์เซ็นต์
โปรตีนไม่เกิน	2	เปอร์เซ็นต์
แป้งไม่ต่ำกว่า	65	เปอร์เซ็นต์
ดินทรายไม่เกิน	3	เปอร์เซ็นต์
เยื่อใยไม่เกิน	5	เปอร์เซ็นต์ (มีส่วนของลำต้นปนมาน้อยที่สุด)
ฝุ่นผงไม่เกิน	8	เปอร์เซ็นต์

ไม่มีเชื้อรา

ไม่มียาฆ่าแมลง

สำหรับคาร์โบไฮเดรตของมันเป็นส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายซึ่งมีสูงถึง 77–82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายเป็นสารประกอบจำพวกแป้ง (starch) จึงทำให้คาร์โบไฮเดรตของมันเป็นส่วนใหญ่มีการย่อยได้สูงเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารพลังงานสำหรับสุกรและอาหารสัตว์กระเพาะเคี้ยวอื่นๆ ส่วนปริมาณโปรตีนในมันเป็นอยู่ในระดับเฉลี่ยไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโปรตีนของมันสำปะหลังประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น เมทไธโอนีน ซิสทีน และกรดอะมิโนที่จำเป็นอื่นๆ ในปริมาณที่ต่ำ

มันเป็นส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมันต่ำเพียง 0.4–1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันอิ่มตัวคือ กรดปาล์มมิก (palmitic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ กรดโอเลอิก (oleic acid) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 38.6 และ 44.8 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ ส่วนกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นมีอยู่เพียง 10.9 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

มันเป็นส่วนใหญ่มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรประมาณ 3,260 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (อุทัย และคณะ, 2540) ระดับพลังงานในมันเป็นอยู่แตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของอายุ สายพันธุ์ กรรมวิธีการผลิต และปริมาณเชื้อรา มันสำปะหลังที่มีเชื้อราทำให้มีค่าพลังงานค่าการย่อยได้ และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่ต่ำลง แต่ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ได้รับการทำความสะอาดและคัดเลือกล้างเจือปนออกระหว่างการผลิตจัดเป็นมันสำปะหลังคุณภาพดี มีระดับพลังงานใกล้เคียงกับข้าวโพดและธัญพืชอื่นๆ แต่มันสำปะหลังมีข้อด้อยในเรื่องของโปรตีนที่มีระดับต่ำ และยังมีไขมัน แร่ธาตุ วิตามิน กรดไขมัน และกรดอะมิโนที่สำคัญหลายชนิดในระดับค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น

องค์ประกอบทางโภชนา (เปอร์เซ็นต์)	มันสำปะหลัง ¹	ข้าวโพด ²	ปลายข้าว ²	รำละเอียด ²
โปรตีน	2.00	8.00	8.00	12.00
พลังงานสุกใช้ประโยชน์ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,260	3,108	3,596	3,120
พลังงานสัตว์ปีกใช้ ประโยชน์ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,500	3,370	3,500	1,720
ไขมัน	0.75	4.00	0.90	12.00
เยื่อใย	4.00	2.50	1.00	11.00
แคลเซียม	0.12	0.01	0.03	0.06
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.05	0.10	0.04	0.47
กรดอะมิโนจำเป็น				
ไลซีน	0.09	0.25	0.27	0.55
เมทไธโอนีน+ซิสตีน	0.66	0.39	0.32	0.50
ทริปโตเฟน	0.02	0.09	0.10	0.10
ทรีโอนีน	0.07	0.32	0.36	0.25

ที่มา: ¹อุทัย และคณะ (2540)

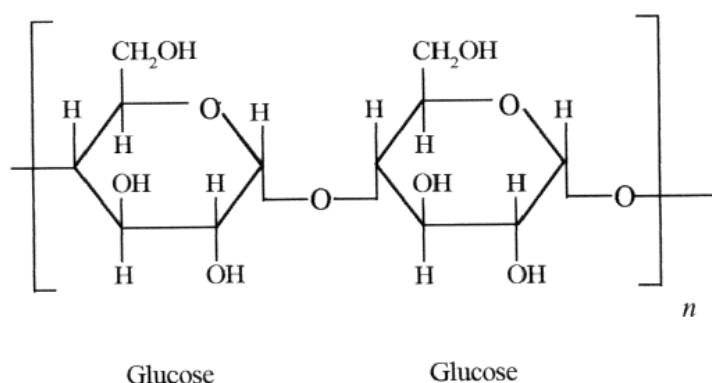
²อุทัย (2529)

แป้งและโครงสร้างของแป้ง

แป้งมันสำปะหลังอยู่ในลักษณะของเม็ดแป้ง (granule) มีลักษณะเป็นทรงกลม (round) เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 5-35 ไมครอน โดยเฉลี่ย 17 ไมครอน โดยจะมีโครงสร้างคล้ายกับแป้งทั่วๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิด คืออะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ปริมาณอะไมโลสในแป้งมันสำปะหลังมีประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์

ที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน สัดส่วนดังกล่าวจะแตกต่างกันตามอายุของหัวมัน และในแป้งแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไปด้วย (Defloor *et al.*, 1998)

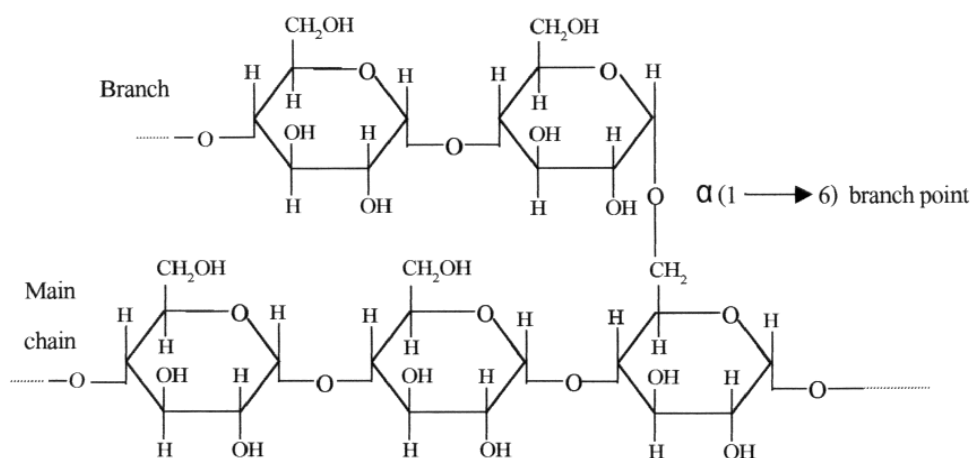
1. อะไมโลส (amylose) เป็นโพลิเมอร์แบบเชิงเส้นประกอบด้วยกลูโคส ประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage เป็นเส้นตรง (ภาพที่ 1) โดยอะไมโลสที่มีขนาดใหญ่จะอยู่กลางของเมล็ดแป้ง ส่วนอะไมโลสขนาดเล็กจะอยู่ตามขอบเมล็ดแป้ง (Oates, 1997) ในแป้งพวกธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแป้งจากพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง และสาธู มีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Voet and Voet (1995)

2. อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,6 ดังภาพที่ 2 ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพคตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส และมีอัตราในการคินตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน

ที่มา: Voet and Voet (1995)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543)

ข้อดีของการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์กระทำกันมานาน โดย Oke (1978) รายงานว่าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารประเภทพลังงานที่ดีทั้งกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวและกระเพาะรวม เนื่องจากแป้งในมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ย่อยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด เนื่องจากมีส่วนของอะไมโลเพกตินอยู่สูง โดยข้อดีของการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ ได้แก่

1. แป้งย่อยง่าย

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นแป้งอ่อนและมีอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติของแป้งอ่อนจะดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เอนไซม์อะไมเลสในทางเดินอาหารย่อยแป้งได้รวดเร็วด้วย Reas (1996) รายงานว่ามันสำปะหลังมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง อินทรีย์วัตถุ และพลังงานสูงสุดในส่วนต่างๆ ของทางเดินอาหารสุกรระยะรุ่น ทั้งในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่ โดยเปรียบเทียบกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ จึงสามารถสรุปได้ว่ามันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานที่ดีและสามารถใช้ทดแทนธัญพืชอื่นๆ ในอาหารสุกรรุ่นได้เป็นอย่างดี

2. มีการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราน้อยมาก

ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่มีสภาพการผลิตและการเก็บรักษาทั่วไป อาจมีการปนเปื้อนของเชื้อราอยู่บ้าง แต่เชื้อราเหล่านั้นจะมีการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินและสารพิษอื่นๆ น้อยมากหรือไม่สร้างเลย อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสัตว์แต่ประการใด Scudamore *et al.* (1997) ได้ศึกษาการเกิดสารพิษจากเชื้อราในตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่าไม่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินและสารพิษชนิดอื่นๆ จากเชื้อราในตัวอย่างมันสำปะหลังจากประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เลย ขณะที่พบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน บี 1, ฟูโมนิซิน บี 1 และ บี 2 ออกราทอกซิน เอ หรือซีราลีโนน ในตัวอย่างข้าวโพด ข้าวฟ่าง กากเนื้อในปาล์ม กากเมล็ดฝ้าย ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ ที่เก็บรักษาในสภาพเดียวกันในโรงงานอาหารสัตว์นั้น ดังนั้นมันสำปะหลังจึงจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่ปลอดสารพิษจากเชื้อราสำหรับอาหารสัตว์ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

3. สุขภาพและภูมิคุ้มกันโรคของสัตว์ดีขึ้น

ผลการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์มักพบว่า สัตว์ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารมันสำปะหลังมักมีสุขภาพดีขึ้น ความต้านทานโรคสูงขึ้นและต้องการใช้ยาปฏิชีวนะน้อยลงหรือไม่ต้องใช้เลย ซึ่งสอดคล้องกับนันทวัน และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้อาหารสูตรข้าวโพดและมันสำปะหลังทั้งที่มีการใช้ยาและไม่ใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารไก่กระตัง ในสภาพการเลี้ยงที่ต่ำกว่ามาตรฐานทั่วไปเพื่อชักนำให้มีอัตราการตายของไก่สูง ผลจากการศึกษาพบว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรมันสำปะหลังทั้งที่ใช้ยาและไม่ใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารมีอัตราการตายต่ำกว่า (ประมาณกว่า 50 เปอร์เซ็นต์) ไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดทั้งที่ใช้ยาและไม่ใช้ยาปฏิชีวนะตามลำดับ ที่สำคัญคือไก่กระตังที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังไม่ใช้ยาปฏิชีวนะ และเลี้ยงในสภาพที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งชักนำให้เกิดโรค มีอัตราการตายเพียง 5.88 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไก่กระตังซึ่งกินอาหารสูตรข้าวโพดทั้งที่ใช้ยาและไม่ใช้ยาปฏิชีวนะที่เลี้ยงในสภาพเดียวกัน มีอัตราการตายสูงถึง 8.78 และ 11.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้สภาพการเลี้ยงไก่ที่ไม่ดีนัก ไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารมันสำปะหลังโดยไม่ได้ใช้ยาปฏิชีวนะก็ยังมีอัตราการตายอยู่ในเกณฑ์ปกติทั่วไปและมีสุขภาพดีกว่า มีภูมิต้านทานโรคสูงกว่าไก่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพดที่ได้ยาปฏิชีวนะในอาหาร จึงแสดงให้เห็นถึงผลดีของมันสำปะหลังต่อการปรับปรุงสุขภาพและเป็นแนวทางในการเลี้ยงไก่กระตังโดยการใช้ยาปฏิชีวนะลดลงหรือไม่ต้องใช้เลย

4. ลดกลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์

อาหารสูตรมันสำปะหลังช่วยทำให้กลิ่นเหม็นของมูลสุกรลดลงและทำให้สภาพแวดล้อมของฟาร์มสุกรดีขึ้น มีแมลงวันรบกวนน้อยลง เนื่องจากการที่ระบบทางเดินอาหารของสุกรที่กินสูตรอาหารมันสำปะหลังมีความเป็นกรดมากขึ้น และมีผลทำให้จำนวน *Escherichia coli* ในลำไส้เล็กลดลง โดยจะมีผลทำให้ลดการผลิตสารอินโดล (indole) และสารสเคโตล (skatole หรือ 3-methyl indole) ซึ่งเป็นสารที่ส่งกลิ่นในมูล ทำให้มูลสัตว์มีกลิ่นลดลง นอกจากนี้ความเป็นกรดในทางเดินอาหารนั้น อาจส่งผลให้ความเป็นกรดในมูลสุกรเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สภาพของมูลสัตว์ไม่เหมาะสมที่จะทำให้ไข่แมลงวันพัฒนาเป็นตัวอ่อนและตัวเต็มวัยได้ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

สารพิษไซยาโนเจนิก กลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside)

การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์ต้องผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษให้หมดไปก่อน มิฉะนั้นจะเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ สารพิษนี้ คือ กรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid) หรือ ไซยาไนด์ (cyanide) ซึ่งอยู่ในหัวมันสำปะหลังสดในรูปของไซยาโนเจนิกกลูโคไซด์ (cyanogenic glycoside) และพบในพืชกว่า 3,000 ชนิด สารพิษนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครม-ออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) ทำให้การสร้างพลังงาน (adenosine triphosphat: ATP) หยุดชะงักเนื้อเยื่อขาดพลังงาน ส่งผลให้ระบบหายใจขัดข้อง สมองขาดออกซิเจน สารพิษไซยาโนเจนิกกลูโคไซด์ในมันสำปะหลังมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ลินามาริน (linamarin) พบในปริมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิกทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxyl isobutyronitrile- β -D-glycoside เป็นกลูโคไซด์ของอะซิโตน ไซยาโนไฮไดริน (acetone cyanodrin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine)

2. โลทอสตราลิน (lotoustralin) พบในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิกทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-2-methylbutyronitrile- β -D-glycoside เป็นกลูโคไซด์ของเมทิลเอทิลคีโตน ไซยาโนไฮไดริน (methylethylketone cyanohydrin) สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine)

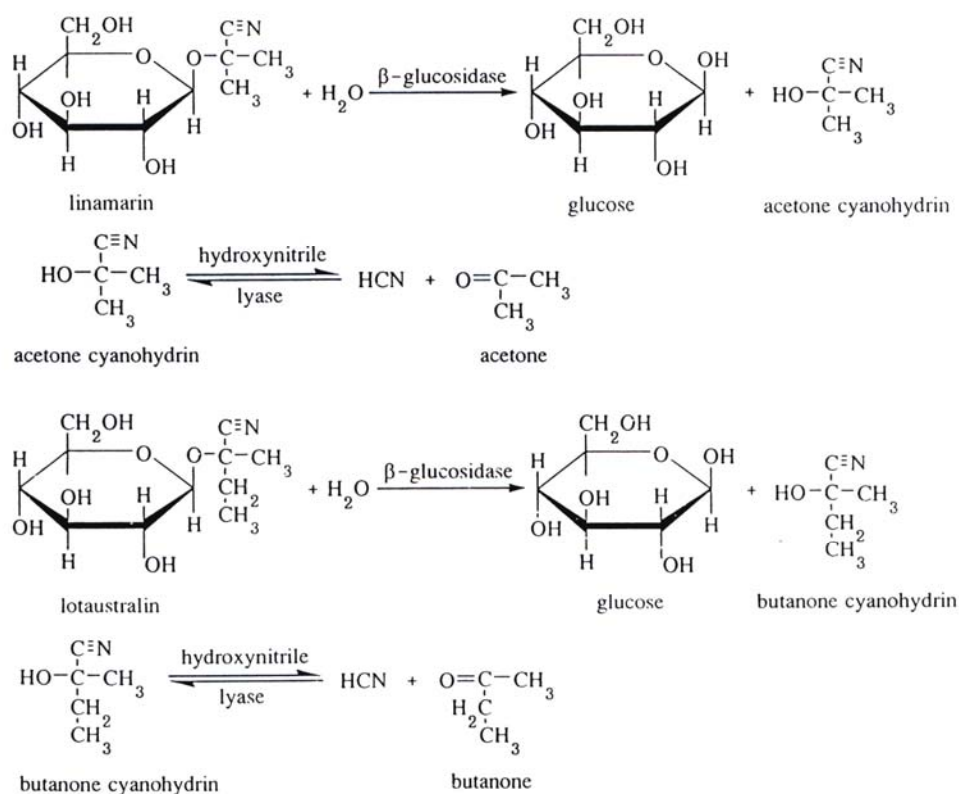
สารประกอบที่สังเคราะห์ได้นี้จะอยู่ในเนื้อเยื่อพืช เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจะมีการสลายตัวของสารประกอบนี้ โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของน้ำย่อยลินามาราส (linamarase) และออกซิไนตริเลส (oxynitirase) หรือไฮดรอกซีไนไตรต์ไลเอส (hydroxynitrite lyase) ย่อยสลายจนได้กรดอะมิโนและกรดไฮโดรไซยานิก ดังภาพที่ 3 การที่พืชสามารถปล่อยกรดไฮโดรไซยานิกออกมาได้ เรียกว่า ไซยาโนเจเนซิส (cyanogenesis) ซึ่งเป็นการป้องกันตัวเองของพืชจากการถูกทำลายโดยสัตว์และแมลง (Poulton, 1990; Hughes *et al.*, 1994)

ในมันสำปะหลังมีกรดไฮโดรไซยานิกประมาณ 14-400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบที่เปลือกของหัวมากกว่าเนื้อ 5-10 เท่า ใบอ่อนมีมากกว่าใบแก่และเนื้อ ปริมาณสารนี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม พันธุ์ และวิธีการวิเคราะห์ มักพบว่าใบมีกรดไฮโดรไซยานิก 83-878 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัมน้ำหนักสด เปลือกของหัว 150-1,110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และเนื้อมี 5-490 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด หากจำแนกมันสำปะหลังตามปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม (เจริญศักดิ์, 2519; กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2543) ได้แก่

1. พวกที่ไม่มีพิษ (innocuous) คือหัวมันที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก
2. พวกที่มีพิษปานกลาง (moderately poisonous) คือมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก
3. พวกที่มีพิษอันตราย (dangerous poisonous) คือหัวมันที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก

กรดไฮโดรไซยานิกที่ระดับ 2,400 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้สัตว์แสดงอาการเป็นพิษแบบเฉียบพลัน ถ้าระดับต่ำกว่านี้สัตว์จะแสดงอาการเป็นพิษเรื้อรัง และเริ่มแสดงอาการเมื่อมีกรดไฮโดรไซยานิกในร่างกายสูงกว่า 180 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (อโนชา, 2529)



ภาพที่ 3 การสลายตัวของสารพิษลินามารินและโลทอสตราลิน

ที่มา: Conn (1994)

มันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะผ่านกรรมวิธีต้มให้เดือดที่อุณหภูมิสูง สามารถทำให้ลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิกที่อยู่ในมันสำปะหลังได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และการทำให้แห้งในกระบวนการขจัดน้ำออก (dehydration) โดยใช้แสงแดด (solar radiation) พบว่าสามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิกในมันสำปะหลังได้ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พิษของไซยาไนด์ซึ่งผลิตกรดไฮโดรไซยานิกนั้นสามารถระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อนที่ 28 องศาเซลเซียส (Gomez *et al.*, 1984)

กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง และจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีมากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง อมรเดช และเพ็ญจิตร (2542) รายงานว่า หัวมันสำปะหลังสด 47.8 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะได้กากมัน

ลำปะหลัง 12.86 ตัน หรือคิดเป็น 26.90 เปอร์เซ็นต์ของหัวมันลำปะหลังสด สอดคล้องกับ กฤติพล (2544) ที่กล่าวว่า ปริมาณกากมันลำปะหลังคิดเป็น 23.39 เปอร์เซ็นต์ ของหัวมันลำปะหลังสด สำหรับประเทศไทยมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมแป้งมันลำปะหลัง โดยในแต่ละปีจะมีการส่งออกแป้งมันลำปะหลังในปริมาณที่สูง (ตารางที่ 3) จึงทำให้มีกากมันลำปะหลังในปริมาณที่สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 3 ปริมาณการส่งออกแป้งมันลำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2544-2551

ปี พ.ศ.	แป้งมันลำปะหลัง (ตัน)
2544	1,302,694.946
2545	1,328,552.091
2546	1,629,655.072
2547	1,790,422.558
2548	1,626,360.299
2549	2,334,472.827
2550	2,220,901.983
2551	2,007,918.310

ที่มา: สมาคมแป้งมันลำปะหลังไทย (2552)

กระบวนการผลิตแป้งมันลำปะหลังประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ (สุรินทร์, 2525)

1. หัวมันจะถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงร่อนดินทราย (sand removal drum) เพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมากับหัวมันและทำให้ผิวนอกของหัวมันหลุดออก

2. หัวมันจะถูกส่งไปยังรางล้างหัวมัน (root washer) เพื่อทำความสะอาดโดยใช้น้ำฉีดหัวมัน จากนั้นหัวมันที่สะอาดแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมัน ซึ่งจะสับหัวมันเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว

3. ชี้น้ำมันเล็กๆ นี้จะตกเข้าสู่เครื่องขูดหัวมัน (root rasper) ทำให้ได้มันสำปะหลังชิ้นละเอียดมากขึ้น และมันสำปะหลังชิ้นละเอียดจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องแยกหยาบ (coarse extractor) เพื่อแยกเอากากมันสำปะหลังออกจากน้ำแป้ง กากมันที่ได้จะเข้าเครื่องอัดกากและนำไปตากแดดได้เป็นกากมันสำปะหลังชนิดแห้งส่งขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

4. น้ำแป้งที่ถูกแยกออกจากกากมันจะถูกส่งไปยังเครื่องแยกละเอียด (fine extractor) และเครื่องแยก (separator) ซึ่งมีอยู่เป็นชุด เพื่อแยกกากมันออกให้หมดและทำให้น้ำแป้งเข้มข้น จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องเหวี่ยงเพื่อเหวี่ยงให้น้ำแยกออกจากแป้ง

5. แป้งที่ถูกแยกเอาน้ำออกแล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่ออบแห้ง ซึ่งมีลมที่ร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส จากเตาเผา (burner) เป่าเข้ามาด้วยความเร็วสูง โดยลมจะพัดเอาแป้งขึ้นไปตามท่ออบแห้ง ที่สร้างเป็นปล่องสูงแล้วตกลงมาสู่ไซโคลน (cyclone) จะได้แป้งมันที่แห้งและละเอียดแต่ยังร้อนอยู่ ต้องทำให้เย็นโดยใช้ไซโคลนเย็น (cooling cyclone) แล้วแป้งมันจะถูกปล่อยสู่เครื่องร่อนแป้ง (sifter) ก่อนจะทำการบรรจุต่อไป

จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่แสดงดังภาพที่ 4 ทำให้เกิดผลพลอยได้ในขั้นตอนต่างๆ ขึ้น (พีรพจน์, 2547) ดังนี้

1. เปลือกดิน (tail and stalk) เป็นผลพลอยได้ที่เกิดในขั้นตอนนำหัวมันสดเข้าสู่เครื่องร่อนทรายออก ประกอบไปด้วย ส่วนของดิน เปลือกผิวนอก หัวมันที่หัก เศษมันที่มีขนาดเล็ก และส่วนเง้าหรือขี้ของมัน

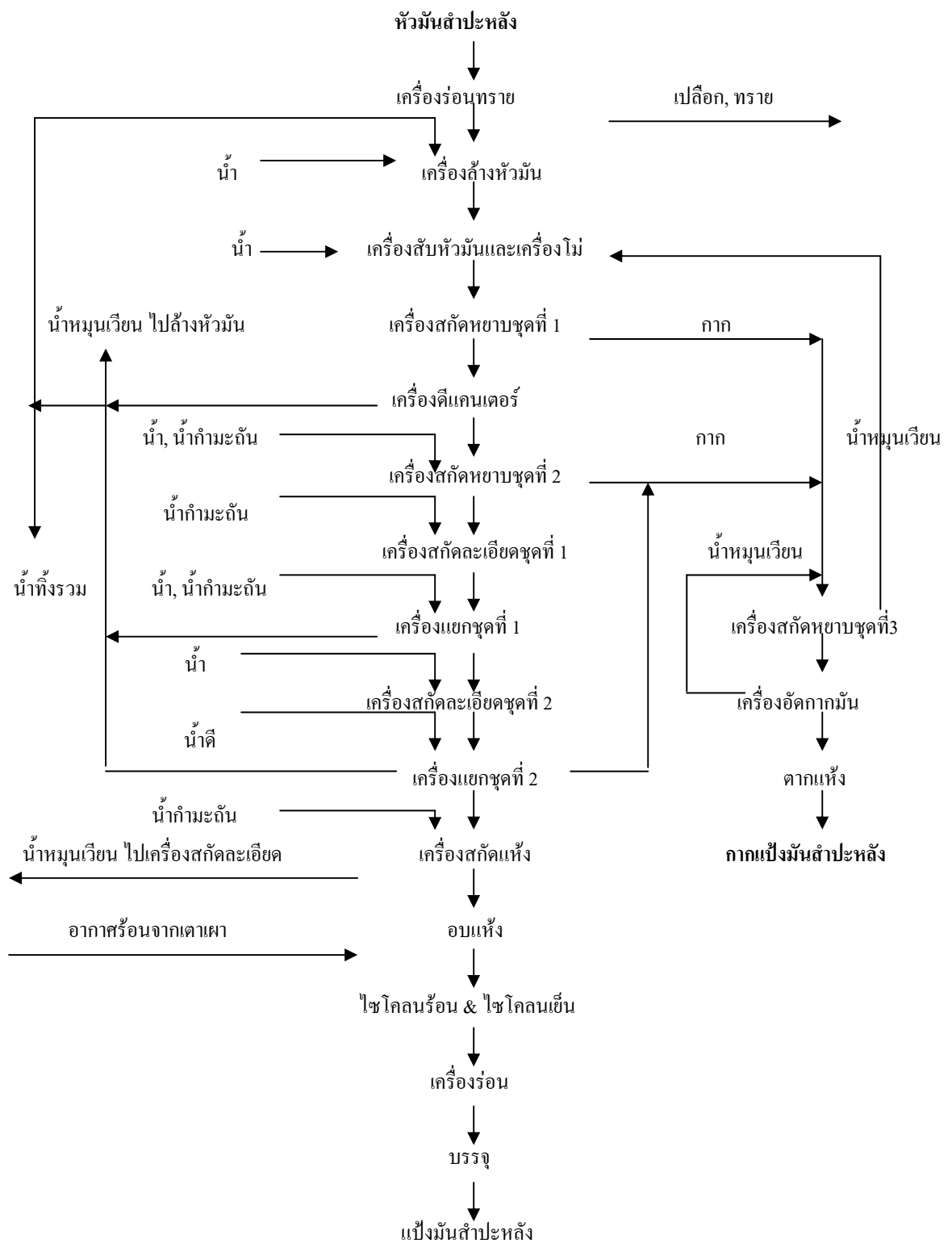
2. เปลือกล้าง (cassava peel) เป็นส่วนที่ได้มาจากขั้นตอนนำหัวมันเข้าเครื่องล้าง ที่ทำหน้าที่ในการปอกเปลือกมัน

3. กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) เกิดขึ้นในขั้นตอนที่หัวมันมีการล้างและปอกเปลือกแล้ว ผ่านเข้าสู่เครื่องโม้ละเอียด ส่งต่อเข้าสู่เครื่องแยกกากออกจากน้ำแป้ง กากของหัวมันที่ได้สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้เลย หรือส่งไปยังลานตากแห้ง เพื่อขายต่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ เป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาถึงคุณภาพ และศักยภาพการนำไปใช้ประโยชน์ องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังดังแสดงในตารางที่ 4 นอกจากนี้ จีรวรรณ (2540) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่อบแห้ง พบว่า มีปริมาณของแร่ธาตุ ได้แก่ เหล็ก 155 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียม 1,100.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ คือ มันสำปะหลัง ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด พบว่ากากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันใกล้เคียงกับมันสำปะหลัง คือ มีโปรตีนและไขมันในปริมาณน้อย แต่กากมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่สูงกว่า มันสำปะหลัง นอกจากนี้กากมันสำปะหลังยังมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่าข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด แต่พบว่าวัตถุแห้งมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำข้าว เมื่อพิจารณาปริมาณเยื่อใย พบว่าเยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอร์เจนที่เป็นกลาง (NDF) เยื่อใยที่ไม่ละลายในดีเทอร์เจนที่เป็นกรด (ADF) และลิกนินที่ไม่ละลายในดีเทอร์เจนที่เป็นกรด (ADL) พบว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง แต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรำละเอียด (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ที่มา: กล้าณรงค์ (2542)

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	แป้ง รวม	ที่มา
กากมัน 1	4.75	1.59	0.27	12.02	3.84	-	สุกัญญา (2546)
กากมัน 2	12.21	3.39	0.24	15.26	2.65	66.22	สุนิษฐ์ (2539)
กากมัน 3	7.4	2.6	0.2	6.6	3.8	-	ปีตุนาต (2547)
กากมัน 4	10.62	1.03	0.62	4.60	1.22	81.91	Pinuliar (1993)
กากมัน 5	-	1.55	0.12	27.75	1.70	68.89	Sriroth <i>et al.</i> (2000)
กากมัน 6	19.87	2.05	0.15	13.17	2.01	65.37	Teerapatr <i>et al.</i> (2006)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น ๆ

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	วัตถุดิบ				
	กากมัน สำปะหลัง ¹	มัน สำปะหลัง ²	ข้าวโพด ¹	กากถั่วเหลือง ¹	รำละเอียด ¹
วัตถุแห้ง	92.6	-	92.5	92.1	93.0
โปรตีน	2.6	2.5	8.8	48.5	12.1
ไขมัน	0.2	0.3	4.7	0.9	19.2
เถ้า	3.8	-	2.5	6.6	13.9
เยื่อใย	6.6	3.2	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

ที่มา: ¹Wisitiporn *et al.* (2006)

²สาโรชและเขาวมาลย์ (2531)

หมายเหตุ NDF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดิเทอร์เจนที่เป็นกลาง

ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในดิเทอร์เจนที่เป็นกรด

ADL = ลิกนินที่ไม่ละลายในดิเทอร์เจนที่เป็นกรด

การใช้มันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังในอาหารสัตว์ต่อสมรรถภาพการผลิต

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในปัจจุบัน โดยวงการปศุสัตว์ได้หันมาให้ความสนใจใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารพลังงาน ในอาหารสุกรใช้กันหลายรูปแบบ เช่น มันสำปะหลังสด มันเส้น มันอัดเม็ด มันสำปะหลังป่น แป้งมัน และกากมันสำปะหลัง โดยมันสำปะหลังมีปริมาณการผลิตปีละประมาณ 18-25 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จากกระบวนการดังกล่าวทำให้ได้กากมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลพลอยได้จำนวนมาก แต่การนำมาใช้ยังไม่แพร่หลาย ส่วนมากเป็นการใช้มันสำปะหลังซึ่งจะมีปัญหาความฟาม เบา เช่นเดียวกับการใช้กากมันสำปะหลัง

ศุภัญญา (2546) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในสุกรรุ่นและสุกรขุน โดยในการศึกษาใช้สุกรเพศผู้ตอนจำนวน 8 ตัว ผลการทดลองพบว่าการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใยของสุกรกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้ต่ำกว่า ($P < 0.01$) กลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยการย่อยได้ของไขมันมีค่าเท่ากับ 33.90, 55.41, 66.33 และ 74.57 เปอร์เซ็นต์ และการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าเท่ากับ 38.40, 47.72, 44.83 และ 57.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ในส่วนของการย่อยได้ของพลังงานในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้สูงกว่า ($P < 0.05$) กลุ่มที่มีกากมันสำปะหลังระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าการย่อยได้ของพลังงานเท่ากับ 84.70, 84.95, 84.03 และ 83.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของโปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของสุกรรุ่นถึงขุน โดยใช้สุกรลูกผสมเพศผู้ตอนจำนวน 16 ตัว เพศเมีย 16 ตัว พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของสุกร ($P > 0.05$) นอกจากนี้จากการศึกษาของอุทัย และคณะ (2548) ที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังทดแทนรำละเอียดในอาหารแม่สุกรอู้มท้องและเลี้ยงลูกที่ระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแม่สุกรอู้มท้องที่กินอาหารทดลองที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างกันมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นช่วงอู้มท้อง จำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิตและน้ำหนักลูกแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารควบคุมที่ใช้รำละเอียด เมื่อพิจารณาในแม่สุกรเลี้ยงลูก พบว่ามีจำนวนลูกสุกรหย่านม น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว และปริมาณการกินอาหารในช่วงเลี้ยงลูกเฉลี่ยต่อวัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($P > 0.05$) ซึ่งจะเห็นว่ากากแป้งมันสำปะหลังนั้นสามารถใช้ทดแทน

วัตถุดิบอาหารพลังงานในอาหารแม่สุกรอ้วนท้องได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการสืบพันธุ์ และสมรรถภาพการผลิตของแม่สุกร

สำหรับในไก่เนื้อและไก่ไข่ การใช้กากมันสำปะหลังนั้นยังไม่แพร่หลาย ส่วนใหญ่มีการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหาร ซึ่งพบว่าไก่เนื้อที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองและอัตราการแลกเนื้อ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มควบคุมสารโซโรและเยวามาลย์ (2531) รายงานว่ามันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบพลังงานหลักเพียงชนิดเดียวในสูตรอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่กินอาหารสูตรข้าวโพด ปลายข้าว และข้าวฟ่าง พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของซุงษ์ และอุทัย (2532) ที่รายงานว่าไก่เนื้อกลุ่มที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดและข้าวฟ่าง พบว่าสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 4-7 สัปดาห์ ซึ่งได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการใช้อาหาร มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังกับการใช้ข้าวโพดในอาหารไก่เนื้อทั้งที่มีการเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ พบว่ากลุ่มที่กินอาหารมันสำปะหลังเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะมีอัตราการตาย 4.21 และ 5.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่กินอาหารข้าวโพดเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ มีอัตราการตาย 8.79 และ 11.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การตายของไก่กระทงมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน (นันทวัน และคณะ, 2545) นอกจากนี้ สุวรรณี และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ทดแทนข้าวโพด ที่ระดับ 0 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่ไข่ (อายุ 22-37 สัปดาห์) พบว่าไก่ไข่ที่กินอาหารสูตรที่ใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดทั้งหมด มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกับไก่ไข่ที่กินอาหารสูตรข้าวโพด แต่การเพิ่มระดับของมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ทำให้สีของไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

มันสำปะหลังถือเป็นวัตถุดิบที่มีปัญหาเรื่องความเป็นฝุ่น และยังเป็นวัตถุดิบที่มีความฟามและฟู ดังนั้นการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารเป็นวัตถุดิบหลักควรอัดเม็ด และเติมไขมันหรือกากน้ำตาลเพื่อควบคุมฝุ่น หรือให้ในรูปอาหารเปียก เพื่อเพิ่มความน่ากิน และมันสำปะหลังจะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ เมทไธโอนีน จึงควรเสริมเมทไธโอนีน ในระดับ 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร (Sison, 1990)

กระบวนการคลุกไอน้ำและการอัดเม็ดอาหาร

อาหารผงที่ผสมเสร็จแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องคลุกไอน้ำและอัดเม็ด โดยความร้อนและความชื้นจากไอน้ำจะทำให้อาหารผงมีอุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการคลุกไอน้ำที่ปล่อยให้เข้าเครื่องจะแตกต่างกันไปตามสูตรอาหาร ซึ่งเครื่องคลุกไอน้ำจะประกอบด้วย ห้องคลุกไอน้ำ (conditioning chamber) และห้องอัดเม็ด (pelletizing chamber) (ณัฐชนก, 2548)

วัตถุประสงค์ของการคลุกไอน้ำ ได้แก่

1. เพิ่มความชื้นและอุณหภูมิให้กับอาหารผงด้วยไอน้ำ โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิวรอบอนุภาค
2. เพิ่มประสิทธิภาพการอัดเม็ดและขึ้นรูปเป็นเม็ดอาหาร
3. ลดภาระของมอเตอร์ทำให้การใช้พลังงานลดลง
4. กระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติที่มีอยู่ในอาหารผง
5. ทำลายจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุประสงค์ของการอัดเม็ด ได้แก่

1. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร
2. ลดการเลือกจิกอาหาร โดยเฉพาะในไก่
3. ลดการสูญเสียอาหารในถังเลี้ยง
4. เพิ่มการย่อยได้ของพลังงานและโปรตีน

หลักการทำงานของเครื่องคลุกไอน้ำอัดเม็ด

อาหารที่จะทำการอัดเม็ด จะต้องมีการปรับสภาพ (conditioner) ให้อาหารมีความชื้นสูงขึ้น โดยการเติมไอน้ำ (steam) ลงไปในอาหาร การคลุกอาหารผงด้วยไอน้ำจะเป็นการเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิให้กับอาหาร โดยเฉพาะรอบๆ ของอนุภาคอาหาร ทำให้อาหารนิ่มและกระตุ้นสารเชื่อมธรรมชาติ เช่น แป้ง โปรตีน

เครื่องปรับอากาศเม็ดอาหาร (conditioner) หรือเครื่องคลุกไอน้ำ มีลักษณะเป็นท่อกลม หัวท้ายปิด และมีทางให้อาหารเข้าออกจากกระบอก ตรงกลางกระบอกจะมีเพลซึ่งเป็นใบพายติดอยู่จำนวนมาก ด้านข้างกระบอกมีจุดที่สามารถเติมน้ำเข้ามาผสมกับอาหารในกระบอก ขณะเครื่องทำงานอาหารจะถูกพาเข้าเครื่องคลุกไอน้ำโดยสกรูป้อนอาหาร เพลตรงกลางกระบอกจะหมุนทำให้ใบพายพาอาหารเคลื่อนพัดอาหารกระจายเต็มกระบอก ในขณะเดียวกันก็เดินทางไปข้างหน้า จนถึงทางออกจากเครื่องคลุกไอน้ำ ใช้เวลาประมาณ 15-20 วินาที อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 85-95 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการอัดเม็ดอาหาร เครื่องดันกำลังจะขับเคลื่อนให้วงไกวมีการหมุนรอบตัวเอง ซึ่งมีผลทำให้ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนรอบตัวเอง จากนั้นจึงป้อนอาหารที่จะอัดเม็ดเข้าสู่วงไกว โดยอาหารจะถูกกดเหวี่ยงให้มาติดอยู่บริเวณผิววงไกวด้านใน เมื่อส่วนของวงไกววิ่งผ่านตรงส่วนที่สัมผัสกับลูกกลิ้ง อาหารที่ผิวไกวจะถูกลูกกลิ้งเหยียบ หรือกดให้แบนลง เนื่องจากมุมสัมผัสระหว่างอาหารเมื่อถูกเหยียบหรือกดด้วยลูกกลิ้ง อาหารจะทะลักออกมาทางรูไกว อาหารที่ออกมาจะเป็นแท่งกลมหรือเป็นอาหารเม็ด ซึ่งอาหารที่ออกมาทางวงไกวจะถูกใบมีดตัดให้สั้นตามความต้องการ อาหารที่เพิ่งออกจากเครื่องอัดเม็ดจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่สามารถบรรจุลงได้ อาหารดังกล่าวจะต้องทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง (อุทัย, 2540)

การคลุกไอน้ำและการอัดเม็ดอาหารสัตว์ต่อสมรรถภาพการผลิต

อาหารเม็ดช่วยลดการสูญเสียอาหารในรูปฝุ่น และสัตว์เล็กกินเฉพาะชิ้นส่วนไม่ได้ จึงได้รับโภชนาที่มีความสมดุลสม่ำเสมอ ความร้อนชื้นและแรงดันที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหารช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนาหลักเกือบทุกชนิด (สาโรช, 2547)

Jahan *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ ที่ได้รับอาหารผงอาหารอัดเม็ด และอาหารเม็ดขบ โดยศึกษาในไก่เนื้อระยะ grower และ finisher ผลการทดลองพบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเม็ดขบจะมีน้ำหนักตัวมากที่สุด ($P < 0.05$) รองลงมาคือ อาหารอัดเม็ด และอาหารผง และไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเม็ดขบยังมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าอาหารอัดเม็ดและอาหารผง ($P < 0.05$) นอกจากนี้ สาโรช (2547) รายงานว่า ในสัตว์ปีกที่กินอาหารเม็ดที่ถูกบดให้แตก (crumbled) ที่มีขนาดพอดี สัตว์จะกินได้สะดวก และเมื่อสัตว์โตขึ้นอาจให้อาหารทั้งเม็ด ซึ่งมักอัดโดยงานที่มีขนาดรูอัดถูกออกแบบไว้สำหรับสัตว์ปีกโดยเฉพาะ และสัตว์

ปึกที่กินอาหารอัดเม็ดมีอัตราการเติบโตและสมรรถภาพการผลิตดีกว่าการกินอาหารผง โดยอัตราการเจริญเติบโตของไก่เนื้อที่กินอาหารอัดเม็ดเพิ่มขึ้น 6-9 เปอร์เซ็นต์

จากการที่มันสำปะหลังส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ต้องทำการบดให้ละเอียดก่อนเพื่อให้สามารถผสมให้เข้ากับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ได้ และมันสำปะหลังมีไขมันน้อยจึงส่งผลให้สูตรอาหารที่ใช้มันสำปะหลังในระดับสูงมีลักษณะเป็นฝุ่นมากและมีความฟุ้งสูง ทำให้สัตว์เกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งลดความน่ากินของอาหาร ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลงและสัตว์ต้องกินน้ำมาก อุจจาระเหลว (อุทัย, 2529) ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการอัดเม็ดอาหาร การเสริมกากน้ำตาลหรือการเสริมไขมันลงในอาหาร สำหรับการอัดเม็ดนั้นนอกจากจะสามารถลดความเป็นฝุ่น ทำให้อาหารแน่นแล้วยังทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น (อุทัย, 2529; Chou and Muller, 1972; Khajarean, 1975/76)

สรสนันท์ (2549) ได้ศึกษาผลของมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ โดยแบ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น 2 ปัจจัย คือ 1. ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน ได้แก่ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง 2. รูปแบบอาหาร ได้แก่ อาหารผงและอาหารอัดเม็ด โดยแบ่งช่วงอายุของไก่เนื้อออกเป็น 2 ช่วง คือ 0-3 และ 3-5 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ไก่เนื้อที่กินอาหารที่ใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน มีสมรรถภาพการผลิตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อตัว และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการตาย ($P>0.05$)

ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์

การเลือกชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อนำไปประกอบสูตรอาหาร ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่เลือกใช้ เพื่อให้ได้โภชนะตรงหรือใกล้เคียงกับความต้องการของสัตว์มากที่สุด อย่างไรก็ตาม นอกจากองค์ประกอบทางเคมีแล้ว คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์ยังมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ที่จะมีผลต่อสัตว์โดยตรงเช่นกัน คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบอาหารสัตว์มีดังนี้ (ณัฐชนก, 2548)

1. ความหนาแน่น (bulk density) หมายถึงน้ำหนักต่อปริมาตรของวัตถุดิบอาหารสัตว์แห้งนั้น ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความหนาแน่น คือ ขนาด รูปร่าง และการอัดตัวของวัตถุดิบ (ณัฐชนก, 2548) ความหนาแน่นเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการผสมอาหาร โดยหากวัตถุดิบมีความแปรผันของความหนาแน่นมาก ส่งผลให้อาหารที่ผสมนั้นเกิดการแยกชั้นได้ นอกจากนี้ยังช่วยในการกะปริมาณที่จะใส่ในถุงได้ (Dirk, 1995)

2. มุมกอง (angle of repose) หมายถึงมุมที่กองของวัตถุดิบที่ทำกับพื้นระนาบ วัตถุดิบที่มีผิวสัมผัสที่เรียบ ลื่น จะมีมุมกองที่น้อยกว่าวัตถุดิบที่มีผิวขรุขระ มุมกองสามารถช่วยในการคาดคะเนความสูงของวัตถุดิบ เพื่อนำไปคำนวณวัตถุดิบในไซโล หรือพื้นที่เก็บรักษาวัตถุดิบในโกดังเก็บ และยังมีผลต่อประสิทธิภาพของการผสมอาหารสัตว์ (ณัฐชนก, 2548) โดยมุมกองจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ (flowability) ของวัตถุดิบ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการผสมอาหาร โดยวัตถุดิบที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูงทำให้ประสิทธิภาพการผสมอาหารดีขึ้น วัตถุดิบที่มีมุมกองต่ำจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง และวัตถุดิบที่มีมุมกองสูงจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6 อย่างไรก็ตาม ลักษณะของมุมกองอาจมีผลจากความชื้นของวัตถุดิบ หากวัตถุดิบมีความชื้นสูงจะทำให้มีมุมกองสูงด้วย (Dirk, 1995)

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของอัตราการเคลื่อนที่และมุมกอง

อัตราการเคลื่อนที่	มุมกอง (องศา)
ดีมาก	25-30 (หรือน้อยกว่า)
ดี	31-35
ปานกลาง	36-40
พอใช้	41-45
น้อย	46-55
น้อยมาก	56-65
น้อยที่สุด	66-90

ที่มา: Dirk (1995)

การคำนวณหามุมของวัตถุสามารถคำนวณจากความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ คือ

$$\text{มุมของ} = \tan^{-1}(h/r)$$

โดยที่

h คือ ความสูงของวัตถุ (เซนติเมตร)

R คือ รัศมีของวัตถุ (เซนติเมตร)

จากกากที่มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีความฟาม เบา และเยื่อใยสูง อาจส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิตไถ่เนื้อได้เมื่อใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการทดลองในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมของกากมันสำปะหลังที่จะนำมาใช้ในการเลี้ยงไถ่เนื้อ และศึกษาถึงรูปแบบของอาหารที่จะช่วยในการลดปัญหาความฟาม เบา และเป็นฝุ่นของกากมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำกากมันสำปะหลังไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นการศึกษาวิจัยย่อยจำนวน 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพและชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ

การทดลองที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างกากมันสำปะหลัง
3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะตัวอย่างกากมันสำปะหลัง อาหารทดลองและมูลไก่ และปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูลไก่
4. กรง metabolic cage สำหรับเลี้ยงสัตว์ทดลอง

วิธีการ

ทำการสุ่มตัวอย่างกากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมันที่มีมาตรฐานของกระบวนการผลิตที่ดี เพื่อศึกษาลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. ตรวจสอบลักษณะทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เหนือใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และปริมาณทรายโดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของอังคณา และดวงสมร (2532) และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนตามวิธี A.P.H.A. method โดยการส่งวิเคราะห์ ณ IQA Laboratory

2. ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น มุมกอง ตามวิธีของ Dirk (1995)

3. ตรวจสอบลักษณะทางชีวภาพ

3.1 วิเคราะห์ปริมาณสารพิษจากเชื้อราของกากมันสำปะหลังโดยวิธี HPLC โดยการส่งวิเคราะห์ที่ Romer Labs Singapore Pte. Ltd.

3.2 ค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลังในไก่เนื้อ

3.2.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุ 21 วัน จำนวน 160 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ตัว เลี้ยงในกรง metabolic cage กรงละ 10 ตัว โดยทำการเลี้ยงด้วยอาหารทดลองในกรง metabolic cage

3.2.2 โรงเรือน

ทำการทดลองในโรงเรือนปิด ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งภายในโรงเรือนมีกรง metabolic cage ที่สามารถเลี้ยงไก่เนื้อได้กรงละ 10 ตัว มีการให้อาหารแบบรางอาหารด้านหน้ากรง และให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ

3.2.3 อาหารทดลอง

ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองที่ได้ทำการเสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของกากมันสำปะหลัง โดยสุ่มไก่เนื้อให้ได้รับอาหารทดลองในรูปอาหารผงดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารควบคุม

สูตรที่ 2 อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองดังแสดงดังตารางที่ 7 และส่วนประกอบพรีมิกซ์ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 8

3.2.4 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะในอาหารและมูล

วิธีการทดลอง คือ ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองตั้งแต่อายุ 1-20 วัน และในวันที่ 21-30 ไก่เนื้อจะได้รับอาหารทดลองที่เสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษาการย่อยได้ของอาหาร ไก่จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) จากนั้นในช่วง 3 วันสุดท้ายของการทดลองจะทำการสุ่มเก็บมูลประมาณ 200 กรัม จากแต่ละกลุ่มทดลองวันละ 1 ครั้ง คือ เวลา 8.00 น. โดยมูลที่เก็บต้องเป็นมูลที่ค่อนข้างใหม่และปราศจากการปนเปื้อนของอาหารทดลองและเศษขี้ไก่ จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ประมาณ 4 แล้วนำมูลที่ได้ในแต่ละวันเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำมูลทั้งหมดมารวมกันและผสมจนเข้ากันดี หลังจากนั้นนำมูลไปตากแดดให้ค่อนข้างแห้ง แล้วจึงนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้น ไขมัน โปรตีนรวม ตามวิธีของ AOAC (1990) และพลังงานรวมของอาหารและมูลไก่ ตามวิธีของอังคณา และดวงสมร (2532) วิเคราะห์หาปริมาณของโครมิกออกไซด์ในอาหารทดลองและมูลไก่ตามวิธีของ Bolin *et al.*, (1952) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของพลังงาน โปรตีน และไขมันของอาหารทั้ง 2 สูตร จากนั้นจึงคำนวณหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนและไขมันของกากมันสำปะหลัง

ค่าการย่อยได้ของอาหารทดลอง

$$= 100 - 100 \times \frac{\% \text{โครมิกออกไซด์ในอาหาร} \times \% \text{โภชนะในมูล (เปอร์เซ็นต์)}}{\% \text{โครมิกออกไซด์ในมูล} \times \% \text{โภชนะในอาหาร}}$$

พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของกากมันสำปะหลัง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

$$= \frac{\text{พลังงานใช้ประโยชน์ได้อาหารทดลอง} - (\text{พลังงานใช้ประโยชน์ได้อาหารสูตรควบคุม} \times 0.8)}{0.2}$$

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารทดลอง} - (\text{ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของอาหารสูตรควบคุม} \times 0.8)}{0.2}$$

$$\begin{aligned} & \text{ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)} \\ &= \frac{\text{ค่าการย่อยได้ของไขมันของอาหารทดลอง} - (\text{ค่าการย่อยได้ของไขมันของอาหารสูตรควบคุม} \times 0.8)}{0.2} \end{aligned}$$

สถานที่ทำการทดลอง

1. ทำการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม
2. วิเคราะห์หาโภชนะต่างๆ และปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารทดลองและมูลไก่ ที่ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลอง

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	54.120
กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน)	24.810
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	13.000
น้ำมันถั่วเหลือง	4.000
โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต (P21)	1.710
แคลเซียมคาร์บอเนต	1.190
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.220
แอล-ไลซีน	0.035
โคลีนคลอไรด์ (50%)	0.001
เกลือ	0.420
พรีมิกซ์ ^{1/}	0.250
พรีมิกซ์ไวดามีนและแร่ธาตุ ^{2/}	0.250
รวม	100.000
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยการคำนวณ (%)	
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	3150.00
โปรตีน	20.00
ไขมัน	2.17
ไขมัน	8.50
เยื่อใย	3.74
แคลเซียม	0.85
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.42
เกลือ	0.50
ไลซีน	1.10
เมทไธโอนีน	0.53
เมทไธโอนีน+ซิสตีน	0.85
โซเดียม	0.18

หมายเหตุ ^{1/} ประกอบด้วยซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

^{2/} ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวดามีนและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์ไวตามิน-แร่ธาตุ

วิตามิน	ปริมาณ
วิตามินเอ	4.00 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินดี	0.05 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินอี	4.48 กรัม
วิตามินเค	30.68 กรัม
วิตามินบี 1	0.52 กรัม
วิตามินบี 2	2.00 กรัม
วิตามินบี 6	0.68 กรัม
วิตามินบี 12	5.60 กรัม
กรดโฟลิก	0.17 กรัม
กรดนิโคตินิก	6.80 กรัม
กรดแพนโทเทนิค	3.36 กรัม
ไบโอติน	0.014 กรัม
โคลีนคลอไรด์	200.00 กรัม
แมงกานีส	26.40 กรัม
เหล็ก	17.20 กรัม
สังกะสี	26.40 กรัม
ทองแดง	3.20 กรัม
ไอโอดีน	0.32 กรัม
ซีลีเนียม	0.03 กรัม
สารอนอมคุณภาพอาหารสัตว์รวม	4.80 กรัม

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับไขมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ

อุปกรณ์

1. ผลของระดับไขมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะ

1.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุ 21 วัน จำนวน 360 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 10 ตัว เลี้ยงในกรง metabolic cage กรงละ 10 ตัว โดยทำการเลี้ยงด้วยอาหารทดลองในกรง metabolic cage

1.2 โรงเรือน

ทำการทดลองในโรงเรือนปิด ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งภายในโรงเรือนมีกรง metabolic cage ที่สามารถเลี้ยงไก่เนื้อได้กรงละ 10 ตัว มีการให้อาหารแบบรางอาหารด้านหน้ากรง และให้น้ำแบบหัวหยดอัตโนมัติ

1.3 อาหารทดลอง

ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองที่ได้ทำการเสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของไขมันสำปะหลัง โดยสุ่มไก่เนื้อให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 6 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารควบคุม (control) รูปอาหารผง

สูตรที่ 2 อาหารที่มีไขมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 3 อาหารที่มีไขมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 4 อาหารควบคุม (control) ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 5 อาหารที่มีไขมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 6 อาหารที่มีไขมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองดังแสดงดังตารางที่ 9-11 และส่วนประกอบ
พรีมิกซ์ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 8

1.4 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะในอาหารและในมูล

วิธีการ

ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองตั้งแต่อายุ 1-20 วัน และในวันที่ 21-30 ไก่เนื้อจะได้รับอาหาร
ทดลองที่เสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษา
การย่อยได้ของอาหาร ไก่จะได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) จากนั้นในช่วง 3 วัน
สุดท้ายของการทดลองจะทำการสุ่มเก็บมูลประมาณ 200 กรัม จากแต่ละกลุ่มทดลอง วันละ 1 ครั้ง
คือ เวลา 8.00 น. โดยมูลที่เก็บต้องเป็นมูลที่ค่อนข้างใหม่และปราศจากการปนเปื้อนของอาหาร
ทดลองและเศษขี้ไก่ จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ประมาณ 4 แล้วนำมูลที่ได้ในแต่ละ
วันเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำมูลทั้งหมดมารวมกันและ
ผสมจนเข้ากันดี หลังจากนั้นนำมูลไปตากแดดให้ค่อนข้างแห้ง แล้วจึงนำมาอบให้แห้งสนิทที่
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อนำไป
วิเคราะห์หาความชื้น ไขมัน โปรตีนรวม และพลังงานรวมของอาหารและมูลไก่วิเคราะห์หาปริมาณ
ของโครมิกออกไซด์ในอาหารทดลองและมูลไก่ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานใช้
ประโยชน์ได้ ค่าการย่อยได้ของโปรตีนและไขมันของอาหารทั้ง 6 สูตร

แผนการวิจัย

ใช้แผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (factorial in CRD)
โดยมีแบบหน้ทางสถิติดังนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij}	แทนค่าสังเกตที่ได้จากระดับที่ i จากปัจจัย A และระดับที่ j จากปัจจัย B
μ	แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด
α_i	แทนอิทธิพลระดับที่ i ของปัจจัย A (ระดับกากมันสำปะหลัง)
β_j	แทนอิทธิพลระดับที่ j ของปัจจัย B (รูปแบบอาหาร)
$(\alpha\beta)_{ij}$	แทนอิทธิพลร่วมกันของระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B
ε_{ij}	แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

2. ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของไก่เนื้อ

อุปกรณ์

2.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross-308 ที่อายุแรกเกิด จำนวน 1,800 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ เป็นเพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 50 ตัว ไก่กระทงถูกเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาทดลอง 45 วัน

2.2 โรงเรือน

ทำการทดลองในโรงเรือนปิด ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหย ใอน้ำ (evaporative cooling system) สำหรับไก่ทดลองถูกเลี้ยงแบบปล่อยพื้นโดยใช้เกลบ

เป็นวัสดุรองพื้น โดยใช้ถังแขวนให้อาหาร และมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple) โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือน ดังนี้

2.2.1 หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 ดวงต่อคอก สำหรับกกลูกไก่ในช่วง 3 สัปดาห์แรก

2.2.2 ถังแขวนให้อาหาร และถังใส่อาหารทดลอง

2.2.3 อุปกรณ์ให้น้ำ

2.2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล สำหรับชั่งน้ำหนักไก่กระทง และน้ำหนักซาก

2.2.5 อุปกรณ์สำหรับการชำแหละซาก

2.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองนั้นจะคำนวณโดยใช้ข้อมูลค่าการย่อยได้ของโภชนะในกากมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยคำนวณสูตรอาหารให้มียอดประกอบและปริมาณโภชนะที่ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ 3 ระยะ คือ starter diet (อายุ 1-17 วัน) grower diet (อายุ 18-38 วัน) และ finisher diet (อายุ 39-45 วัน) โดยไก่แต่ละกลุ่มจะได้รับการสุมให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 6 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 อาหารควบคุม (control) รูปอาหารผง

สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 4 อาหารควบคุม (control) ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

ส่วนประกอบของสูตรอาหารทดลองดังแสดงดังตารางที่ 9-11 และส่วนประกอบพรีมิกซ์ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 8

วิธีการ

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอาหาร

สุ่มตัวอย่างอาหารทดลองที่เป็นอาหารผง (สูตรที่ 1-3) และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของอาหารทดลอง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นและมูมกอง ตามวิธีของ Dirk (1995)

การศึกษาด้านสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก

การจัดการเลี้ยงดู

เลี้ยงไก่กระตังในโรงเรือนปิดควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบระเหยด้วยไอน้ำ (evaporative cooling system) และใช้เกลือเป็นวัสดุรองพื้น โดยให้ไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ให้อาหารโดยใช้ระบบถังแขวน และมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 45 วัน โดยไก่กระตังทุกตัวจะได้รับการทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (ND) และหลอดลมอักเสบ (IB) ที่อายุ 7 วัน วัคซีนป้องกันโรคกัมโบโร (IBD) ที่อายุ 14 วัน และทำวัคซีนป้องกันโรค นิวคาสเซิล (ND) และหลอดลมอักเสบ (IB) ซ้ำอีกครั้งหนึ่งที่อายุ 21 วัน

การบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ไก่อายุ 1-17 วัน (starter) 18-38 วัน (grower) และ 39-45 วัน (finisher) ตามลำดับ โดยในแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งไก่ทุกตัวในทุกกลุ่มการทดลอง เมื่ออายุ 1 17 38 และ 45 วัน แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น
2. บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุของแต่ละกลุ่มการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อตัว

3. บันทึกจำนวนไก่ตายในแต่ละกลุ่มการทดลองเป็นรายวัน แล้วนำมาคำนวณอัตราการตาย

4. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทุกวัน วันละ 3 ครั้ง คือ เวลา 9.00, 12.00 และ 15.00 น. เพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน

5. สุ่มเก็บอาหารทดลองของทุกสูตรเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัว (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้} - \text{ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed gain ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนไก่ที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนไก่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว (กลุ่มทดลองละ 30 ตัว) รวมทั้งหมด 180 ตัว เพื่อนำมาฆ่าและชำแหละเพื่อตรวจสอบลักษณะซาก โดยทำการบันทึกข้อมูลดังนี้ น้ำหนักมีชีวิต (live weight) น้ำหนักซากสดรวมเครื่องใน (dressed weight) หรือน้ำหนักหลังถอนขน น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (eviscerated weight) น้ำหนักเครื่องในรวม (ตับ กิ่งหัวใจ) (visceral organs weight) น้ำหนักคอและหัว (head and neck weight) น้ำหนักเนื้อหน้าอก (breast weight) น้ำหนักสะโพก (thigh weight) น้ำหนักน่อง (drumstick weight) น้ำหนักปีก (wing

weight) น้ำหนักแข้ง (shank weight) น้ำหนักไขมันช่องท้อง (abdominal fat weight) และน้ำหนักโครงกระดูก (skeleton weight)

นำค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาลักษณะซาก ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากสด} = \frac{\text{น้ำหนักซากสด}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์หัวและคอ} = \frac{\text{น้ำหนักหัวและคอ}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อหน้าอก}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เนื้อสะโพก} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อสะโพก}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น่อง} = \frac{\text{น้ำหนักน่อง}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปีก} = \frac{\text{น้ำหนักปีก}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์แข้ง} = \frac{\text{น้ำหนักแข้ง}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้อง} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันช่องท้อง}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์โครกกระดูก} = \frac{\text{น้ำหนักโครกกระดูก}}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาค่าประกอบโภชนาต่างๆ ในอาหารที่ใช้ทำการทดลอง คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของอังคณา และดวงสมร (2532)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลน้ำหนักตัวของไก่กระทงทุกตัวเมื่ออายุ 17, 38 และ 45 วัน มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (2x3 factorial experiment in randomized complete block design) สำหรับข้อมูลที่วัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์นำมาทำการแปลงข้อมูลแบบอาร์คไซน์ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน (พิศมัย, 2545) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Tukey's honestly ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

แผนการวิจัย

ใช้แผนการทดลองแบบ factorial in randomized completely block design (factorial in RCBD) โดยมีแบบหุ่นทางสถิติดังนี้คือ

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่ Y_{ijk} แทนค่าสังเกตที่ได้จากหน่วยทดลองที่ k ของระดับที่ i จากปัจจัย A และระดับที่ j จากปัจจัย B

μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมด

B_k แทนอิทธิพลของบล็อก

α_i แทนอิทธิพลระดับที่ i ของปัจจัย A (ระดับกากมันต่ำปะหลัง)

- β_j แทนอิทธิพลระดับที่ j ของปัจจัย B (รูปแบบอาหาร)
- $(\alpha\beta)_{ij}$ แทนอิทธิพลร่วมกันของระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B
- ϵ_{ijk} แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. ทำการเลี้ยงสัตว์ทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาทกกลกิจ เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

2. ทำการอัดเม็ดอาหารทดลอง ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาทกกลกิจ เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

3. ซ้ำแหละซาก ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตผลจากสัตว์ สถาบันสุวรรณวาทกกลกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

4. วิเคราะห์หองค์ประกอบของอาหารทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 1–17 วัน

วัตถุดิบ	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		
	0	5	10
ข้าวโพด	52.49	45.46	38.48
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
น้ำมันรำ	4.00	5.19	6.37
กากถั่วเหลือง	25.61	26.49	27.32
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00
ปลาป่น	5.00	5.00	5.00
แอล-ไลซีน	0.02	0.00	0.00
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.21	0.22	0.23
โคลีนคลอไรด์	0.004	0.004	0.004
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	1.14	1.15	1.16
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.72	0.69	0.65
เกลือ	0.30	0.30	0.29
พรีมิกซ์ ^{1/}	0.25	0.25	0.25
พรีมิกซ์ ^{2/} วิตามินและแร่ธาตุ	0.25	0.25	0.25
รวม	100	100	100
องค์ประกอบทางโภชนาะโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
โปรตีน	22.00	22.00	22.00
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,150.00	3,150.00	3,150.00
ไขมัน	8.35	9.34	10.31
เยื่อใย	3.66	3.95	4.24
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45
เกลือ	0.48	0.47	0.46
ไลซีน	1.25	1.25	1.27
เมทไธโอนีน	0.59	0.59	0.59
เมทไธโอนีน+ซิสทีน	0.92	0.92	0.92

หมายเหตุ ^{1/} ประกอบด้วยซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

^{2/} ส่วนประกอบของพรีมิกซ์วิตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 18-38 วัน

วัตถุดิบ	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		
	0	5	10
ข้าวโพด	58.52	51.54	44.56
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
น้ำมันรำ	4.02	5.20	6.38
กากถั่วเหลือง	21.78	22.60	23.43
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	8.00	8.00	8.00
ปลาป่น	5.00	5.00	5.00
แอล-ไลซีน	0.00	0.00	0.00
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.19	0.20	0.21
โคลีนคลอไรด์	0.004	0.004	0.004
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	0.99	1.01	1.02
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.69	0.66	0.62
เกลือ	0.30	0.30	0.29
พรีมิกซ์ ^{1/}	0.25	0.25	0.25
พรีมิกซ์ไวดามินและแร่ธาตุ ^{2/}	0.25	0.25	0.25
รวม	100	100	100
องค์ประกอบทางโภชนาะโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
โปรตีน	20.00	20.00	20.00
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,200.00	3,200.00	3,200.00
ไขมัน	8.19	9.16	10.14
เยื่อใย	3.44	3.73	4.02
แคลเซียม	0.85	0.85	0.85
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.42	0.42	0.42
เกลือ	0.47	0.47	0.46
ไลซีน	1.10	1.12	1.14
เมทไธโอนีน	0.54	0.55	0.55
เมทไธโอนีน+ซิสทีน	0.85	0.85	0.85

หมายเหตุ ^{1/} ประกอบด้วยซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

^{2/} ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวดามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้อทดลองที่อายุ 39-45 วัน

วัตถุดิบ	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)		
	0	5	10
ข้าวโพด	63.44	56.46	49.47
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
น้ำมันรำ	3.16	4.34	5.52
กากถั่วเหลือง	17.32	18.15	18.97
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00
ปลาป่น	3.00	3.00	3.00
แอล-ไลซีน	0.00	0.00	0.00
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.20	0.21	0.22
โคลีนคลอไรด์	0.00	0.00	0.00
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	1.19	1.20	1.22
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.84	0.80	0.77
เกลือ	0.35	0.34	0.33
พรีมิกซ์ไวดามินและแร่ธาตุ ^{1/}	0.25	0.25	0.25
รวม	100	100	100
องค์ประกอบทางโภชนาะโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
โปรตีน	18.00	18.00	18.00
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3,200.00	3,200.00	3,200.00
ไขมัน	7.66	8.63	9.60
เยื่อใย	3.33	3.62	3.91
แคลเซียม	0.80	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.40	0.40	0.40
เกลือ	0.48	0.47	0.47
ไลซีน	0.95	0.97	0.99
เมทไธโอนีน	0.52	0.52	0.52
เมทไธโอนีน+ซิสทีน	0.80	0.80	0.80

หมายเหตุ ^{1/} ประกอบด้วยซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาต่างๆ ของกากมันสำปะหลังด้วยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter พบว่ากากมันสำปะหลังมีความชื้น 11.34 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 3.42 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.50 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 14.75 เปอร์เซ็นต์ และมีแป้ง 47.96 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12) จะเห็นได้ว่ากากมันสำปะหลังมีโปรตีน และไขมันในปริมาณต่ำ แต่มีเยื่อใยและแป้งในปริมาณสูง การที่มีแป้งในปริมาณสูง ส่งผลให้มีค่าพลังงานรวมสูงด้วย อีกทั้งแป้งที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลังเป็นแป้งอ่อน ซึ่งสัตว์สามารถย่อยได้สูง (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) ดังนั้นจึงถือว่ากากมันสำปะหลังเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบพลังงานทางเลือกได้ นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในกากมันสำปะหลังซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณทราย (acid insoluble ash, AIA) นั้นพบว่ามีค่าประมาณ 1.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับทรายในกากมันสำปะหลังที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากมันสำปะหลังที่เหมาะสมต่อการนำมาประกอบอาหารเลี้ยงสัตว์ นั้นไม่ควรมีทรายเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ (สุกัญญา, 2539)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น	11.34
โปรตีน	3.42
ไขมัน	0.50
เยื่อใย	14.75
เถ้า	5.73
แคลเซียม	0.73
ฟอสฟอรัส	0.02
แป้ง ^{1/}	47.97
NFE ^{2/}	63.51
พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4002.96
ปริมาณทราย (acid insoluble ash)	1.58
ปริมาณไซยาไนด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	16.6

หมายเหตุ ^{1/} ได้จากการวิเคราะห์

^{2/} ได้จากการคำนวณ

ลักษณะทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

ผลจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างกากมันสำปะหลัง (ตารางที่ 13) พบว่า ค่าความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 320.1 กรัมต่อลิตร สอดคล้องกับ วริยา และคณะ (2552) ที่รายงานว่ากากมันสำปะหลังจากแหล่งต่างๆ 5 แหล่ง มีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 347 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าข้าวโพด (800-850 กรัมต่อลิตร) ถ้าใช้ในปริมาณมากในสูตรอาหาร อาจทำให้ความสามารถในการผสมให้เข้ากันได้ของอาหารลดลง ส่งผลให้ส่วนผสมต่างๆ เช่น วิตามิน และยา ซึ่งใช้ปริมาณน้อยผสมได้ไม่ทั่วถึง ทำให้อาหารผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองมีค่ามูมกองเท่ากับ 28.35 องศา ซึ่งค่ามูมกองนี้สามารถใช้ในการคาดคะเนความสูงของกองวัตถุดิบได้ และยังสามารถใช้ในการวัด

ประสิทธิภาพของการผสมอาหารสัตว์ได้ (ณัฐชนก, 2548) โดยมูลกองจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการผสมอาหารและการลำเลียงวัตถุดิบอาหารในระบบขนส่งของโรงงาน โดยวัตถุดิบที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูงทำให้ประสิทธิภาพการผสมอาหารดีขึ้น (Dirk, 1995) ค่ามูลกองที่วิเคราะห์ได้สัมพันธ์กับความสามารถในการเคลื่อนที่ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (ตารางที่ 6) คือ มีประสิทธิภาพของการผสมอาหารสูง

ตารางที่ 13 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ปริมาณ (หน่วย)
ความหนาแน่น	320.1 กรัมต่อลิตร
มูลกอง	28.35 องศา

ลักษณะทางชีวภาพของกากมันสำปะหลัง

ปริมาณสารพิษจากเชื้อรา

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษจากเชื้อราของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ โดยสารพิษจากเชื้อราที่ได้ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Aflatoxin, Zearalenone, Deoxynivalenol, Fumonisin และ Ochratoxin ซึ่งพบว่าการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราน้อยมาก (ตารางที่ 14) ซึ่งสอดคล้องกับ Scudamore *et al.* (1997) ที่ได้ศึกษาการเกิดสารพิษจากเชื้อราในตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่าไม่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินและสารพิษชนิดอื่นๆ จากเชื้อราในตัวอย่างมันสำปะหลัง

ตารางที่ 14 ผลการตรวจสอบชนิดของเชื้อราของกากมันสำปะหลัง

ชนิดของเชื้อรา	ปริมาณ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)
Aflatoxin B1	<1
Aflatoxin B2	<1
Aflatoxin G1	<1
Aflatoxin G2	<1
Zearalenone	<32
Deoxynivalenol	<50
Fumonisin B1	<100
Fumonisin B2	<100
Ochratoxin	<2

ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะของกากมันสำปะหลังในไก่เนื้อ

จากการศึกษาการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะของกากมันสำปะหลังโดยทำการให้อาหารทดลองที่มีโครมิกซ์ออกไซด์แก่ไก่เนื้อ แล้วทำการเก็บตัวอย่างอาหารที่ทดลองและตัวอย่างมูลจากสัตว์ทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ จากนั้นทำการคำนวณค่าการย่อยได้แบบปรากฏของสารอาหารในอาหารทดลองและในกากมันสำปะหลัง ซึ่งผลการทดลอง พบว่าอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 อาหารควบคุม และสูตรที่ 2 อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์+กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนเท่ากับ 72.17 และ 70.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันเท่ากับ 92.31 และ 92.48 ตามลำดับ และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏเท่ากับ 3658.62 และ 3399.51 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนของอาหารสูตรควบคุม+กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ จะลดลงเมื่อเทียบกับ Jorgensen *et al.* (1996) ที่รายงานว่า การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารจะมีแนวโน้มลดลง หากเชื้อใยในอาหารเพิ่มมากขึ้น และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้จะลดลงตามปริมาณเชื้อใยที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย เมื่อคำนวณค่าการย่อยได้ของสารอาหารในกากมันสำปะหลัง พบว่าค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏเท่ากับ

2363.04 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และสำหรับค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนและไขมัน เท่ากับ 62.19 และ 93.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะของกากมันสำปะหลัง

ค่าการย่อยได้	อาหารทดลอง ^{1/}	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	72.17	70.18
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	92.31	92.48
พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	3658.62	3399.51
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	-	62.19
ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันในกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	-	93.16
พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของกากมันสำปะหลัง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	-	2363.04

หมายเหตุ ^{1/} สูตรที่ 1 อาหารควบคุม

สูตรที่ 2 อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ

ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ

จากการศึกษาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะของอาหารสูตรกากมันสำปะหลังทั้ง 6 สูตร คือ สูตรที่ 1 2 และ 3 ได้รับอาหารผงที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 (สูตรควบคุม) 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 4 5 และ 6 ได้รับอาหารอัดเม็ดที่มีกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 16) โดยการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter จากการทดลอง ไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาระดับกากมันสำปะหลัง พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อพิจารณาผลของรูปแบบอาหารต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหาร พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดส่งผลให้มีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏของอาหารสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Zelenk (2003) ที่ได้ศึกษาผลของการอัดเม็ดต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏในไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะส่งผลให้ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะดีขึ้น โดยเฉพาะค่าการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุดิบ ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการคลุกไอน้ำอัดเม็ดยังอาหารจะได้รับทั้งพลังงานและความร้อน โดยเฉพาะที่บริเวณรอบของอนุภาคอาหาร จากแรงกดอัดและสภาวะน้ำจำกัดในกระบวนการผลิต มีผลช่วยให้โครงสร้างของเม็ดแป้งบางส่วนเปิดออก ทำให้เอนไซม์เข้าย่อยแป้งได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้ประโยชน์ของแป้งเพิ่มมากขึ้น (ณัฐชนก, 2548)

ตารางที่ 16 ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะของอาหารทดลอง

อิทธิพล	ค่าการย่อยได้ ของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการย่อยได้ ของไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานใช้ ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี ต่อกิโลกรัม)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	70.62	93.48	3498.57
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	70.66	93.31	3487.99
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	70.67	92.59	3432.79
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	71.39	95.85	3554.71
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	71.32	95.39	3569.06
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	71.16	95.02	3569.60
อิทธิพลของปัจจัยหลัก			
ระดับกากมันสำปะหลัง			
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	71.01	94.67	3526.64
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	70.99	94.35	3528.53
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	70.91	93.80	3501.19
รูปแบบอาหาร			
อาหารผง	70.65 ^b	93.13 ^b	3473.12 ^b
อาหารอัดเม็ด	71.29 ^a	95.42 ^a	3564.46 ^a
ความแปรปรวน		P-value	
ระดับกากมันสำปะหลัง	0.8305	0.7620	0.6343
รูปแบบอาหาร	<0.0001	0.0269	0.0022
อิทธิพลรวม	0.6947	0.9855	0.4582
Pooled SE	0.34	2.43	75.34

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหาร สมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากของไก่เนื้อ

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และพลังงานรวมของอาหารทดลองที่ใช้ในแต่ละช่วงอายุของไก่เนื้อด้วยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter (ตารางที่ 17-19) ซึ่งจากการวิเคราะห์อาหารทดลองพบว่า ปริมาณโภชนาต่างๆ ของอาหารทดลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโภชนาที่ได้จากการคำนวณสูตรอาหาร (ตารางที่ 9-11) แต่สำหรับเยื่อใยในสูตรอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความผันแปรของปริมาณเยื่อใยที่มีในกากมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามปริมาณเยื่อใยที่วิเคราะห์ได้ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับอาหารไก่เนื้อ คือ ไม่ควรมีเยื่อใยเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์, 2542)

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 1-17 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง					
	1	2	3	4	5	6
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	10.05	10.07	9.94	10.53	10.28	10.02
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	22.56	22.52	22.45	22.60	22.53	22.55
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.61	9.84	10.83	8.66	9.59	10.48
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	3.24	3.71	4.91	3.26	3.74	4.97
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	3.52	3.73	3.80	3.46	3.78	3.92
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.92	0.92	0.89	0.91	0.89	0.91
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.80	0.84	0.85	0.81	0.84	0.85
พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4,578.51	4,543.70	4,521.42	4,564.31	4,502.05	4,559.42

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 18-38 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง					
	1	2	3	4	5	6
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	9.30	9.14	8.87	9.40	9.24	8.96
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	20.52	20.58	20.42	20.58	20.27	20.40
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.25	9.54	10.41	8.90	9.82	10.33
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	2.95	3.67	4.70	2.90	3.64	4.62
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	3.02	3.13	3.14	3.17	3.35	3.41
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.84	0.87	0.86	0.86	0.85	0.87
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.75	0.77	0.72	0.75	0.77	0.72
พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4,546.96	4,528.28	4,573.02	4,568.04	4,521.57	4,531.30

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองที่ใช้ในช่วงอายุ 39-45 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง					
	1	2	3	4	5	6
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	9.28	9.05	9.01	9.51	9.09	9.28
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	18.56	18.59	18.52	18.22	18.46	18.64
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.34	9.43	9.69	8.85	9.43	10.68
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	2.42	3.50	4.58	2.56	3.43	4.58
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	2.89	3.01	2.94	2.81	2.69	2.97
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.82	0.82	0.80	0.81	0.80	0.79
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.68	0.73	0.65	0.68	0.69	0.66
พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4,548.59	4,568.34	4,515.33	4,564.05	4,535.87	4,523.45

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของอาหาร

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาหารสูตรกากมันสำปะหลัง โดยจะศึกษาในอาหารผงที่ใช้กากมันสำปะหลังระดับต่างๆ คือ สูตรที่กากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละช่วงอายุคือ 1-17, 18-38 และ 39-45 วัน โดยค่าที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ค่าความหนาแน่น และค่ามุมกอง สำหรับค่าความหนาแน่น พบว่าอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบจะมีค่าความหนาแน่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Jordan (1983) ที่กล่าวว่ากากมันสำปะหลังที่ตากแห้งจะมีลักษณะฟาม เบา เป็นฝุ่น มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น คือ ขนาด รูปร่าง และการอัดตัวของวัตถุดิบ (ณัฐชนก, 2548) ซึ่งกากมันสำปะหลังถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (436.29 ไมครอน) และมีการอัดตัวของวัตถุดิบต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดบด จึงทำให้อาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบมีความหนาแน่นต่ำลง ขณะที่การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารส่งผลให้ความหนาแน่นของอาหารแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และผลการทดลองจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันในอาหารของทุกช่วงอายุ (ตารางที่ 20)

สำหรับค่ามุมกองของอาหารผง จะเห็นได้ว่าในอาหารในทุกช่วงอายุที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบจะมีค่ามุมกองลดลง ($P < 0.05$) ณัฐชนก (2548) กล่าวว่าวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่และกลม จะสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ทำให้มุมกองของวัตถุดิบราบ แต่วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กและแบน จะเคลื่อนที่ได้ยาก ทำให้มุมกองของวัตถุดิบชัน กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ส่งผลทำให้มีมุมกองที่ราบ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดบดที่มีขนาดอนุภาคเล็กและเคลื่อนที่ได้ยาก ซึ่งจะมีมุมกองที่ชันกว่า ดังนั้นอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบจะมีมุมกองที่ราบหรือน้อยกว่าอาหารสูตรควบคุม สอดคล้องกับ Dirk (1995) ที่รายงานว่าค่ามุมกองจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการผสมอาหาร โดยวัตถุดิบที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูงทำให้ประสิทธิภาพการผสมอาหารดีขึ้น ค่ามุมกองของอาหารที่วิเคราะห์ได้อยู่ระหว่าง 32-39 องศา ซึ่งถือได้ว่ามีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดี (ตารางที่ 6) ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการผสมอาหารดีด้วย นอกจากนี้ค่ามุมกองยังมีประโยชน์ในการใช้คาดคะเนความสูงของกองวัตถุดิบได้อีกด้วย

ตารางที่ 20 ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายภาพของอาหารผงทดลอง

อิทธิพล	ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)	มุมกอง (องศา)
อาหารทดลองช่วงอายุ 1-17 วัน		
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	579.11 ^a	38.98 ^a
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	556.35 ^b	33.41 ^b
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	540.63 ^b	32.23 ^b
P-value	<0.0001	<0.0001
Pooled SE	15.83	2.20
อาหารทดลองช่วงอายุ 18-38 วัน		
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	580.81 ^a	38.99 ^a
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	548.63 ^b	33.13 ^b
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	536.60 ^b	32.80 ^b
P-value	<0.0001	<0.0001
Pooled SE	12.00	1.41
อาหารทดลองช่วงอายุ 39-45 วัน		
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	574.04 ^a	38.79 ^a
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	548.44 ^b	34.49 ^b
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	540.73 ^b	33.90 ^b
P-value	0.0011	<0.0001
Pooled SE	18.53	1.48

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลของระดับไขมันต่ำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่อเนื้อ

จากการศึกษาผลระดับไขมันต่ำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่อเนื้อในทุกช่วงอายุ ซึ่งสมรรถภาพการผลิตของไก่อเนื้อที่ทำการศึกษา ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ซึ่งทำการวิเคราะห์ ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่ ระดับไขมันต่ำปะหลัง 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ และรูปแบบอาหาร คือ อาหารผงและอาหารอัดเม็ด ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 21-24 จากการทดลองปรากฏผลดังนี้ คือ

สมรรถภาพการผลิตของไก่อเนื้อแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอายุ คือ 1-17 18-38 และ 39-45 วัน โดยไก่อเนื้อแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 2 และ 3 ได้รับอาหารผงที่มีไขมันต่ำปะหลังที่ระดับ 0 (สูตรควบคุม) 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 4 5 และ 6 ได้รับอาหารอัดเม็ดที่มีไขมันต่ำปะหลังที่ระดับ 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับไขมันต่ำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่อเนื้อ ซึ่งได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ในทุกช่วงอายุ

เมื่อพิจารณาด้านผลของการใช้ระดับไขมันต่ำปะหลังที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้ที่ระดับ 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร พบว่าไก่อเนื้อที่อายุ 1-17 วัน ที่ได้รับอาหารสูตรไขมันต่ำปะหลัง 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ไก่อเนื้อที่ได้รับอาหารที่มีไขมันต่ำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณอาหารที่กินต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับไขมันต่ำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไก่อเนื้อในระยะนี้เป็นไก่อเล็ก ระบบต่างๆ ภายในร่างกายยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะระบบทางเดินอาหาร การย่อยเยื่อใยยังไม่ดีเท่าที่ควร การใช้ไขมันต่ำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง (14.75 เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหารส่งผลให้เยื่อใยในสูตรอาหารสูงขึ้น ทั้งในอาหารผงและอาหารอัดเม็ด คือ สูตรควบคุมจะมีเยื่อใย 3.24 และ 3.26 เปอร์เซ็นต์ สูตรอาหารที่มีไขมันต่ำปะหลังเป็นองค์ประกอบ 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีเยื่อใย 3.71 และ 3.74 เปอร์เซ็นต์ และสูตรอาหารที่มีไขมันต่ำปะหลังเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีเยื่อใย 4.91 และ 4.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Janssen and Carre (1985) ที่รายงานว่า เยื่อใยที่มีในสูตรอาหารของไก่อเล็กส่งผลให้ปริมาณการกินอาหาร และการย่อยได้ของสารอาหารลดลง นอกจากนี้ สาโรช และเขวามาลย์ (2531) กล่าวว่าสูตรอาหารที่ใช้มันต่ำปะหลังมากมีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้มันต่ำปะหลัง

เนื่องจากสัตว์มีปริมาณหรือความจุของกระเพาะจำกัด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการกินอาหารของไก่เนื้อ ดังนั้นเมื่อปริมาณอาหารที่กินลดลงจึงส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นลดลงด้วย แต่ระดับกากมันสำปะหลังไม่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ($P>0.05$) สำหรับผลของระดับกากมันสำปะหลังไก่เนื้อที่อายุ 18-38 และ 39-45 วัน พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาสมรรถภาพการผลิตในแต่ละช่วงอายุ พบว่าในไก่ช่วงอายุ 1-17 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารได้ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต แต่การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณอาหารที่กินน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอาหารที่มีกากมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบจะมีเยื่อใยสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลัง ซึ่งกากมันสำปะหลังถือเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง อุทัย (2529) รายงานว่า วัตถุดิบอาหารที่มีระดับเยื่อใยสูง จะมีการย่อยได้ต่ำ โดยเยื่อใยเป็นตัวคูดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูง อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น เอนไซม์ในทางเดินอาหารจึงทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะลดลง มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น สำหรับไก่เนื้อในช่วงอายุ 18-38 และ 39-45 วัน พบว่าสามารถใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวม

เมื่อพิจารณาด้านรูปแบบอาหาร คือ อาหารผงและอาหารอัดเม็ด พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงในทุกกระยะการทดลอง จะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณอาหารที่กินแตกต่างกับอาหารอัดเม็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยที่ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินมากกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ทั้งนี้เนื่องจากอาหารอัดเม็ดยังมีความหนาแน่น ไม่เป็นฝุ่น ทำให้สัตว์กินอาหารได้มากกว่า จึงทำให้สมรรถภาพการผลิตดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ซึ่งมีความฟามมากกว่า อาหารมีความเป็นฝุ่นมากกว่า (อุทัย, 2529) สอดคล้องกับ Rangilal *et al.* (1995) ที่กล่าวว่า การนำมันสำปะหลังบดมาใช้ในการประกอบสูตรอาหาร ซึ่งมีลักษณะเบา และฟาม จึงส่งผลให้มีปัญหาต่างๆ คือ มีปริมาณมากแต่น้ำหนักน้อย ทำให้อาหารที่ไขมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ มีลักษณะเป็นผงแห้ง มีฝุ่นมาก และมีความฟามสูง ซึ่งจะลดความน่ากินของอาหาร และทำให้เกิดอาการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจได้ง่ายขณะที่กินอาหาร ทำให้มีการกินน้ำเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้สัตว์กินอาหารน้อยลง นอกจากนี้การอัดเม็ดจะช่วยป้องกันการแยกตัวของส่วนประกอบอาหาร ทำให้สัตว์เลือกกินไม่ได้ สัตว์จึงได้รับโภชนะที่สมดุล (สาริธ, 2547)

สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่าง พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดในช่วงอายุ 1-17 วัน จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากไก่เนื้อในระยะนี้ได้รับอาหารเม็ดขบ ซึ่งเป็นรูปแบบอาหารที่มักใช้กันทั่วไปในไก่เนื้อ สอดคล้องกับ Jahan *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ ที่ได้รับอาหารผง อาหารอัดเม็ด และอาหารเม็ดขบ พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเม็ดขบจะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างดีกว่าอาหารอัดเม็ดและอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดในช่วงอายุ 18-38 วัน จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ($P < 0.05$) และไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดในช่วงอายุ 39-45 วัน จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างไม่แตกต่างกับไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ($P > 0.05$) และเมื่อพิจารณาตลอดระยะเวลาการทดลอง (1-45 วัน) พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดและอาหารผงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งผลการทดลองขัดแย้งกับ สรัสนันท์ (2549) ที่รายงาน bahwa ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองครั้งนี้ ในกระบวนการอัดเม็ดอาหาร จะได้เม็ดอาหารที่มีความแข็งและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จนเกินไป (5 มิลลิเมตร) ซึ่งปกติอาหารไก่เนื้อจะเป็นอาหารเม็ดขบ จึงทำให้ไก่เนื้อเลือกจิกกินในส่วนที่สามารถกินได้ ส่งผลให้อาหารมีการตกหล่น อัตราการเปลี่ยนอาหารอาหารเป็นน้ำหนักรูปร่างของอาหารอัดเม็ดจึงไม่แตกต่างกับอาหารผง สำหรับผลของรูปแบบอาหารต่ออัตราการตายพบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดและอาหารผงในทุกช่วงอายุ มีอัตราการตายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

อย่างไรก็ตามไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ด จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรูปร่างมากกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีน้ำหนักรูปร่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2949.02 กรัม แต่ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงมีน้ำหนักรูปร่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2496.65 กรัม ซึ่งจะมีประโยชน์ในแง่ของการช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้ได้น้ำหนักรูปร่างตลาดเร็วขึ้น

สำหรับการทดลองในครั้งนี้ได้มีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ซึ่งพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับสูงสุด คือ 10 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจน 1.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยในการนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์ เนื่องจากระดับของกรดไฮโดรไลซิกที่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษแบบเฉียบพลันคือ 2,400 มิลลิกรัม

ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่ถ้าระดับต่ำกว่านี้สัตว์ก็จะแสดงอาการเป็นพิษเรื้อรัง และจะเริ่มแสดงอาการเมื่อมีระดับของกรดไฮโดรไลซายนิกในร่างกายสูงกว่า 180 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (อโนซา, 2529) ดังนั้นไก่เนื้อที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้จึงไม่ได้รับผลกระทบจากปริมาณไฮยาไนด์ และจากการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษจากเชื้อราของกากมันสำปะหลัง พบว่ามีการปนเปื้อนในปริมาณที่น้อยมาก Cheng (1991) รายงานว่าไก่ที่ได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินที่ระดับ 0.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไก่เนื้อจะมีการโลหิตจางและการสร้างภูมิคุ้มกันลดลง ที่ระดับ 1.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไก่เนื้อมีตับ ม้าม และไต มีขนาดโตขึ้น แต่ขนาดต่อมเบียร์ช้ำและต่อมไทมัสมีขนาดเล็กลง และที่ระดับ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จะพบการแข็งตัวของเลือดนานขึ้น อัตราการเจริญเติบโตลดลง และอัตราการตายสูงขึ้น สำหรับสารพิษซีราลีโนน สารโธ (2547) รายงานว่า ระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์ปีก คือ 100 มิลลิกรัมต่อตันอาหาร โดยไก่จะมีรอยช้ำมาก และที่ระดับ 1,000 มิลลิกรัมต่อตันอาหาร ไก่เนื้อจะมีต่อมเบียร์ช้ำเล็กลง แต่ในการวิเคราะห์กากมันสำปะหลังครั้งนี้ พบว่ามีปริมาณสารพิษอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ สัตว์จึงไม่แสดงอาการดังกล่าว ดังนั้นไก่เนื้อที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้โดยไม่มีผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา

ในการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร อาจทำให้มีต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำ ในการคำนวณสูตรอาหารจึงต้องมีการเพิ่มแหล่งไขมันและแหล่งโปรตีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมได้ ดังนั้น จึงควรใช้กากมันสำปะหลังในช่วงที่วัตถุดิบแหล่งพลังงานอื่นๆ มีราคาสูง ซึ่งอาจช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

ตารางที่ 21 ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหาร ที่กิน (กรัม)	อัตราการ เปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนัก ตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	587.39	725.11	1.23	1.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	570.11	716.74	1.26	0.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	551.41	688.58	1.25	0.67
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	637.99	779.99	1.22	0.33
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	606.71	749.68	1.24	0.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	599.49	741.59	1.24	0.00
อิทธิพลของปัจจัยหลัก				
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	612.69 ^a	752.03 ^a	1.23	0.67
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	588.41 ^b	733.50 ^b	1.25	0.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	575.45 ^b	715.32 ^c	1.24	0.33
รูปแบบอาหาร				
อาหารผง	569.63 ^b	710.60 ^b	1.25 ^a	0.67
อาหารอัดเม็ด	614.73 ^a	756.64 ^a	1.23 ^b	0.22
ความแปรปรวน				
			P-value	
ระดับกากมันสำปะหลัง	<0.0001	<0.0001	0.0974	0.7610
รูปแบบอาหาร	<0.0001	<0.0001	0.0493	0.2010
อิทธิพลร่วม	0.5769	0.1621	0.8288	0.6500
Pooled SE	17.22	15.06	0.02	0.34

หมายเหตุ ^{a, b, c} อักษรที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 22 ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อที่อายุ 18-38 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	1493.92	2483.80	1.64	0.67
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	1433.29	2455.52	1.71	1.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	1452.77	2459.22	1.68	2.01
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	1640.26	2865.61	1.77	2.34
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	1634.43	2867.59	1.77	1.34
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	1644.83	2896.58	1.77	1.00
อิทธิพลของปัจจัยหลัก				
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	1562.37	2695.07	1.72	1.51
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	1534.72	2657.84	1.74	1.17
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	1552.66	2661.26	1.71	1.51
รูปแบบอาหาร				
อาหารผง	1465.20 ^b	2443.78 ^b	1.66 ^b	1.56
อาหารอัดเม็ด	1634.64 ^a	2899.00 ^a	1.78 ^a	1.23
ความแปรปรวน				
		P-value		
ระดับกากมันสำปะหลัง	0.5090	0.7576	0.5388	0.7456
รูปแบบอาหาร	<0.0001	<0.0001	0.0121	0.4247
อิทธิพลร่วม	0.5098	0.4950	0.3840	0.0976
Pooled SE	60.55	56.68	0.06	0.45

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 23 ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อที่อายุ 39-45 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณ อาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการ เปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนัก ตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	562.76	1263.92	2.27	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	494.72	1199.12	2.49	0.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	491.55	1264.70	2.61	0.00
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	619.30	1468.99	2.38	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	637.57	1453.62	2.30	0.34
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	596.70	1439.09	2.44	0.34
อิทธิพลของปัจจัยหลัก				
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	577.32	1344.63	2.34	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	574.04	1338.93	2.38	0.17
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	549.94	1361.16	2.52	0.17
รูปแบบอาหาร				
อาหารผง	561.05 ^b	1313.75 ^b	2.40	0.00
อาหารอัดเม็ด	573.15 ^a	1382.73 ^a	2.43	0.22
ความแปรปรวน				
		P-value		
ระดับกากมันสำปะหลัง	0.1936	0.2143	0.2093	0.6012
รูปแบบอาหาร	0.0244	<0.0001	0.6774	0.1608
อิทธิพลร่วม	0.2170	0.1830	0.3169	0.6012
Pooled SE	58.15	52.09	0.26	0.17

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 24 ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อที่อายุ 1-45 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	2420.58	4079.03	1.68	1.66
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	2545.99	4468.92	1.76	1.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (ผง)	2502.80	4389.88	1.75	2.66
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	3017.24	5262.12	1.74	2.66
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	2979.69	5217.16	1.75	2.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (อัดเม็ด)	2869.91	5074.54	1.76	1.33
อิทธิพลของปัจจัยหลัก				
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	2761.53 ^a	4755.08	1.72	2.17
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	2762.85 ^a	4843.04	1.76	1.67
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	2686.36 ^b	4732.21	1.76	2.00
รูปแบบอาหาร				
อาหารผง	2496.65 ^b	4338.51 ^b	1.74	1.89
อาหารอัดเม็ด	2949.02 ^a	5176.14 ^a	1.76	2.00
ความแปรปรวน				
		P-value		
ระดับกากมันสำปะหลัง	0.0235	0.4419	0.2355	0.7554
รูปแบบอาหาร	<0.0001	<0.0001	0.1659	0.8567
อิทธิพลร่วม	0.3090	0.8849	0.3239	0.2510
Pooled SE	65.40	72.42	0.06	0.55

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันในแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อลักษณะซากของไก่เนื้อที่อายุ 45 วัน

จากการทดลองผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อลักษณะซากของไก่เนื้อที่อายุ 45 วัน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 25-27 พบว่า ไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ ($P>0.05$) ซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักเครื่องในรวม หัวและคอ ปีก เนื้อหน้าอก สะโพก น่อง แข้ง ไขมันช่องท้อง และโครง

สำหรับผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้ลักษณะซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาด้านผลของรูปแบบอาหาร คือ อาหารผงและอาหารอัดเม็ด ต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ด ส่งผลให้ลักษณะซากมีค่าแตกต่างกับไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากสด และเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะของสูตรอาหารต่างๆ ในไก่เนื้อ พบว่าอาหารอัดเม็ดมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ดีกว่าอาหารผง การที่ค่าการย่อยได้ของโภชนะดีกว่าส่งผลให้การนำโภชนะไปใช้ประโยชน์ เช่น การนำไปใช้ในการสร้างกล้ามเนื้อนั้นดีขึ้น จึงส่งผลให้ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากสดและเปอร์เซ็นต์ซากดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากการทดลองที่ได้ทำการศึกษาผลของรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ที่พบว่าสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดยุคแรกดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง จึงส่งผลให้ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีเปอร์เซ็นต์ซากดีกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผงด้วย นอกจากนี้ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดจะมีลักษณะซากต่าง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ตับ+กึ้น+หัวใจ หัว+คอ ปีก เนื้อหน้าอก สะโพก น่อง แข้ง ไขมันช่องท้อง โครงกระดูก โดยการคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดส่งผลให้น้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ มากกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Brickett *et al.* (2007) ที่ได้ทำการศึกษารื่องผลของรูปแบบอาหาร ต่อคุณภาพซากไก่เนื้อ โดยผลการทดลองพบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดส่งผลให้น้ำหนักซาก เนื้อหน้าอก ไขมันช่องท้อง สะโพก น่อง และปีก สูงกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผง ($P<0.05$)

ตารางที่ 25 ผลของระดับไขมันสำปะหลัง และรูปแบบอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ

สมรรถภาพ การผลิต	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)						SE	P-value
	อาหารผง			อาหารอัดเม็ด				
	0	5	10	0	5	10		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2719.46	2705.50	2720.33	2785.33	2840.83	2844.66	184.78	0.5432
น้ำหนักซากสด(กรัม) ⁿ	2254.33	2239.16	2245.50	2331.83	2362.66	2369.50	166.48	0.6804
เปอร์เซ็นต์ซาก ^{1/}	82.80	82.69	82.33	83.73	83.15	83.26	1.58	0.6801
ตับ+กึ้น+หัวใจ ^{2/}	4.09	4.07	3.93	4.03	3.83	3.87	0.48	0.2982
หัวใจ+คอ ^{2/}	8.25	8.22	7.93	8.12	8.18	8.22	0.52	0.0913
ปีก ^{2/}	9.32	9.35	9.27	9.43	9.29	9.35	0.42	0.5074
เนื้อหน้าอก+หนัง ^{2/}	25.94	26.16	25.70	26.31	26.11	26.07	1.60	0.7105
สะโพก ^{2/}	16.08	16.18	16.44	16.29	16.50	16.48	0.79	0.6477
น่อง ^{2/}	12.23	12.41	12.22	12.26	12.29	12.31	0.78	0.7427
แข้ง ^{2/}	4.24	4.22	4.31	4.20	4.20	4.16	0.28	0.3622
ไขมันช่องท้อง ^{2/}	2.25	2.12	2.18	2.38	2.29	2.31	0.79	0.9842
โครง ^{2/}	20.96	20.67	20.94	20.54	20.84	20.79	1.04	0.2971

หมายเหตุ ⁿ น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

^{1/} คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักมีชีวิต

^{2/} คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

ตารางที่ 26 ผลของระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะซากไก่เนื้อ

สมรรถภาพการผลิต	ระดับกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)			SE	P-value
	0	5	10		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2752.40	2773.16	2782.50	184.78	0.6596
น้ำหนักซากสด (กรัม) ¹	2293.08	2300.91	2307.50	166.48	0.8934
เปอร์เซ็นต์ซาก ¹	83.27	82.92	82.79	1.58	0.2561
ตับ+กึ้น+หัวใจ ²	4.06	3.95	3.90	0.48	0.2207
หัว+คอ ²	8.18	8.20	8.08	0.52	0.3698
ปีก ²	9.38	9.32	9.31	0.42	0.6286
เนื้อหน้าอก+หนัง ²	26.12	26.13	25.88	1.6	0.6276
สะโพก ²	16.18	16.34	16.46	0.79	0.1637
น่อง ²	12.24	12.35	12.27	0.78	0.7516
แข้ง ²	4.22	4.21	4.23	0.28	0.9082
ไขมันช่องท้อง ²	2.32	2.20	2.24	0.79	0.7261
โครง ²	20.75	20.76	20.86	1.04	0.7875

หมายเหตุ ¹ น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

¹ คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักมีชีวิต

² คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

ตารางที่ 27 ผลของรูปแบบอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ

สมรรถภาพการผลิต	รูปแบบอาหาร		SE	P-value
	อาหารผง	อาหารอัดเม็ด		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2715.10 ^b	2823.61 ^a	184.78	0.0001
น้ำหนักซากสด (กรัม) ¹	2246.33 ^b	2354.66 ^a	166.48	<0.0001
เปอร์เซ็นต์ซาก ^{1/}	82.60 ^b	83.38 ^a	1.58	0.0014
ตับ+กึ้น+หัวใจ ^{2/}	4.03	3.91	0.48	0.1021
หัวใจ+คอ ^{2/}	8.13	8.17	0.52	0.6141
ปีก ^{2/}	9.31	9.36	0.42	0.4646
เนื้อหน้าอก+หนัง ^{2/}	25.93	26.16	1.6	0.3340
สะโพก ^{2/}	16.23	16.42	0.79	0.1111
น่อง ^{2/}	12.28	12.29	0.78	0.9673
แข้ง ^{2/}	4.25	4.19	0.28	0.1122
ไขมันช่องท้อง ^{2/}	2.18	2.33	0.79	0.2235
โครง ^{2/}	20.86	20.72	1.04	0.3930

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(P<0.05)

¹ น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

^{1/} คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักมีชีวิต

^{2/} คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

สรุป

1. องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลอง พบว่า กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนและไขมันต่ำ แต่มีเยื่อใยและแป้งสูง และมีปริมาณไนโตรเจนในระดับที่ไม่เป็นพิษ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานทางเลือกได้

2. กากมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลองจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำคือเท่ากับ 320.1 กรัมต่อลิตร และมีค่ามูมกองเท่ากับ 28.35 องศา จัดเป็นวัตถุดิบที่มีอัตราการเคลื่อนที่ในระบบลำเลียงได้ดี

3. กากมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการทดลองมีการปนเปื้อนของเชื้อราในปริมาณที่น้อยมาก นอกจากนี้กากมันสำปะหลังมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏเท่ากับ 2363.04 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนเท่ากับ 62.19 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้แบบปรากฏของไขมันเท่ากับ 93.16 เปอร์เซ็นต์

4. การใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของอาหารลดลง มีความฟามเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้ค่ามูมกองลดลง ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการผสมอาหารดีขึ้น

5. ไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะที่ศึกษา และการใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ไม่มีผลกระทบต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และพลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ แต่พบว่าการอัดเม็ดอาหารส่งผลให้ค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น

6. ไม่พบอิทธิพลร่วมของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมและลักษณะซากของไก่เนื้อ ไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-17 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ทีละระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และในช่วงอายุ 18-38 และ 39-45 วัน สามารถใช้กากมันสำปะหลังได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมและลักษณะซากของไก่เนื้อ และไก่เนื้อที่ได้รับอาหารอัดเม็ดส่งผลให้มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และเปอร์เซ็นต์ซากคึกว่าการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารผง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กฤติพล สมมาตรย์. 2544. รายงานความก้าวหน้าการวิจัย ครั้งที่ 2 โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากหัวมันสำปะหลังเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อลดต้นทุนการผลิต. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. เทคโนโลยีของแป้ง. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับริเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. 2542. การขออนุญาตและขอขึ้นทะเบียนอาหารสัตว์ฉบับผู้ประกอบธุรกิจอาหารสัตว์และพนักงานเจ้าหน้าที่. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ
- เจริญศักดิ์ โจนฤทธิพิเชษฐ์. 2519. มันสำปะหลัง. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เจริญศักดิ์ โจนฤทธิพิเชษฐ์. 2532. มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิรวรรณ อภิรักษากร. 2540. การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากการย่อยกากมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูพงษ์ ศรีวัฒนวรชัย และ อุทัย คันโธ. 2532. การใช้ใบกระถินแช่น้ำร่วมกับข้าวฟ่างหรือมันเส้นเป็นอาหารไก่กระตัง ใน เรื่องเติมการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 27 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณัฐชนก อมรเทวภัทร. 2548. เอกสารประกอบวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. โครงการจัดตั้ง
ภาควิชาเทคโนโลยีทางกระบวนการเคมีและฟิสิกส์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คนัย สุภาพาร. 2537. พฤกษศาสตร์และพันธุศาสตร์มันสำปะหลัง, น. 14-30. ใน เอกสารวิชาการ
มันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

นันทวัน ธนะศรีสุธารัตน์, สุจิตตรา มุลชัยสุข และ สุพรรณยา ตาถาวรณ. 2545. ผลการใช้มัน
สำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดในอาหารไก่กระตังที่มีการเสริมและไม่เสริมยา
ปฏิชีวนะ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิณฑา หนูเสน. 2547. การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารชั้นต่อการให้
ผลผลิตของโคนมลูกผสมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิศมัย หาญมงคลพิพัฒน์. 2545. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิรพจน์ นิติพจน์. 2547. ผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารทดแทนมัน
สำปะหลังเส้นในสูตรอาหารชั้น ต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมักความสามารถในการ
ย่อยได้ และการเจริญเติบโต ในโคนมรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2552. กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง. แหล่งที่มา :
<http://www.tapiocathai.org/ttsa/process/index.htm>.

สร้อยนันทน์ สว่างคำ. 2549. ผลของการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันในไก่
กระตัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลัง
นานาวิทยา, จังหวัดขอนแก่น.

- _____ และเขาวมาลัย คำเจริญ. 2531. การใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกร เป็ด และไก่. ชุมนุมสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกร จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สุกัญญา จิตตพรพงษ์. 2539. การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 194 น.
- สุกัญญา ทิมทอง. 2546. ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและลักษณะซากของสุกรรุ่น-ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุนีย์ โชติณีนารถ. 2539. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์และอัลตราฟิลเทรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรินทร์ เศรษฐมานิจ. 2525. การทำความสะอาดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยกระบวนการคอนแทกสเปปไดเซชัน โครงการระยะที่ 1, น. 1-33. ใน รายงานสภาพการกำจัดและการใช้ประโยชน์น้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย, มกราคม 2528. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- สุวรรณี แสันทวิสุข, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และปณตริกา หะริณสุต. 2543. การใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ ใน เรื่องเติมการประชุมวิชาการครั้งที่ 38 สาขาสัตวสัตวแพทยศาสตร์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อโนชา เลาศรีรัตนชัย. 2529. การใช้มันสำปะหลังหมักโปรตีนสูงเป็นอาหารหมู และสุกรระยะเจริญเติบโต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สีนเจิมศิริ. 2532. การวิเคราะห์และการประเมินคุณภาพอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อมรเดช พุทธิพิพัฒน์จักร และเพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2542. ความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังหมักเป็นอาหารสัตว์. วิศวกรรมสาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 37: 41.

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

_____. 2540. **เอกสารประกอบการสอนวิชา Feed and Feed Stuff Processing**. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____ และ สุกัญญา จัตตพรพงษ์. 2547. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวจากกสิกิจฯ และภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____, _____ และ ไพฑูรย์ มูลจิตร. 2548. **การใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกรอู้มท้องและเลี้ยงลูก**. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 43 (สาขาสัตว์ และอุตสาหกรรมการเกษตร)** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, _____ และ วิไลลักษณ์ ชาวอุทัย. 2540. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์**. มุตนธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, กรุงเทพฯ.

_____, ชนินทร์ ติรวฒนวนิช, สุกัญญา จัตตพรพงษ์ และยอดขวัญ ไคว้เจริญทรัพย์. 2548. **การศึกษาผลการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารลูกสุกรหย่านม ต่อสรีรวิทยาทางเดินอาหารของลูกสุกร และต่อลักษณะสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร**. ใน **รายงานผลการดำเนินงานโครงการส่งเสริมใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2548**. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวจากกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official; Analytical Chemists, Inc., Virginia.

- Bolin, D. W., R. P. King 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.
- Brickett, K. E., J. P. Dahiya, H. L. Classen and S. Gomis. 2007. Influence of Dietary Nutrient Density, Feed Form, and Lighting on Growth and Meat Yield of Broiler Chickens. **Poultry Sci.** 86: 2172–2181.
- Cheng, T. K. 1991. Common mycotoxin, the genera of fungi that produced them and the report toxic levels and symptoms in poultry. **Central Soya Feed Research.** (Doc. /December 91)
- Chou, K. C. and Z. Muller. 1972. Complete substitution of maize by tapioca in broiler ration, pp. 149-160. *In* **proc. Australian Poultry Sci. Conv.**, Newzealand, Auckland.
- Conn, E.E. 1994. Cyanogenesis-A personal perspective, pp. 31-44. *In* M. Bokanga, A. J. A. Essers, N. Poulter, H. Rosling and O. Tewe, eds. **Acta Horticultrae: International Workshop on Cassava Safety**, 1-4 March 1994, Ibadan, Nigeria.
- Defloor, I., I. Dehenj and J. A. Delcour. 1998. Physico-chemical properties of cassava starch. **Starch/Starke** 50: 58-64.
- Dirk, E. A. 1995. **Manufacturing feed in 21st century.** IMC-Agrico Feed Ingredients Bannockburn, Illinois.
- Hughes, M.A., J. Hughes, S. Liddle and Z. Keresztessy. 1994. Biochemistry and molecular biology of cyanogenesis. *In* กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 น.

- Gomez, G.M., M. Valdivieeso, D.D. Lacuesta and T.S. Salcedo. 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole-roast cassava chips and its reduction by sun-drying. **Anim. Feed Sci. Tech.** 8: 211-220.
- Jahan, M. S., M. Asaduzzaman and A. K. Sarkar. 2006. Performance of broiler fed on mash, pellet and crumble. **Poultry Sci.** 5 (3): 265-270.
- Janssen, W. M. M. A., and B. Carre. 1985. Influence of fibre on digestibility of poultry feeds, pp 71–88. *In* **Recent Advances in Animal Nutrition**. W. Haresign and D. J. A. Cole, ed. Butterworths, London, UK.
- Jordan, K. 1983. **Manioc in livestock feeds** **Feed Comp.** (Jan): 6-11.
- Jorgensen, H., X. Zhao, K. E. B. Knudsen, and B. O. Eggum. 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **Br. J. Nutr.** 75: 379–395.
- Khajarearn, J. 1975/76. A preliminary study on the utilization of cassava products as enery source for broiler. *In* **KKu-IDRC cassava/Nutrition Project 1975/76 Annual Report**. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
- Lancaster, P. A., J. S. Ingram, M. Y. Lim and D. G. Coursey. 1982. Traditional cassava based foods: suvey of processding techniques. **Economic Botany** 36 (1): 12-45.
- Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Sci Tech.** 8: 375-382.
- Oke, O. L. 1978. Problem in the use of cassava as animal feed. **Sci. Tech.** 3: 345-380.

- Pinulian, S. P. 1993. A comparative study of cassava refuse meal and rice bran as feeds for growing and fattening pigs. **The Philippine Agriculturist**. 29:611-615.
- Poulton, J. 1990. Cyanogenesis in plants. *In* กล้านรงค์ ศิริโรด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง**. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 น.
- Rangilal, D. S., C. V. Dinorkar and A. S. Kaikani. 1995. Studies on the partial replacement of maize by tapioca meal in broiler ration. **Poultry-adviser** 28 (4): 49-52.
- Reas, B.P. 1996. **A study on the comparative digestibility of cassava, maize, sorghum and barley in growing pigs**. Master Thesis, University of Queensland.
- Scudamore, K. A., M. I. Hetmanski, H. K. Chan, S. Colins. 1997. Occurrence of mycotoxins in row ingredients used for animal feeding stuffs in the United Kingdom in 1992. **Food Additives and Contaminants**. 14: 167-173.
- Sison, J. A. 1990. The future of non conventional feedstuffs in the feed milling industry (Part 2). *Feed Magazine International*. Winter 90/91. อ้างโดย พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. หลักการอาหารสัตว์ เล่ม 2 หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์. กรุงเทพฯ. 576 น.
- Sriroth, K., R. Chollakup, S. Chotineeranat, K. piyachomkwan and C. G. Oates. 2000. Processing of cassava waste for improve biomass utilization. **Biosource Technol**. 71: 6.
- Teerapat, S., K. Lerdruk and S. La-aied. 2006. Approach of Cassava Waste Pretreatments for Fuel Ethanol Production in Thailand. **J. Sci. Res. Chula. Univ**. 31: 78-84.
- Voet, D. and J. G. Voet. 1995. **Biochemistry**. 2nd ed. University of Pennsylvania and Swarthmore College, New York.

Wisitiporn S., P. Lounglawan, 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.

Zelenka, J. 2003. Effect of pelleting on digestibility and metabolisable energy values of poultry diet. **J. Anim. Sci.**, 48, 2003 (6): 239–242

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูล (Bolin *et al.*, 1952)

อุปกรณ์

1. เตาหย่อย (Kjeldahl apparatus)
2. เตาหย่อยพลาสติก (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)

สารเคมี

1. สารโซเดียมโพลิบเดท (sodium molybdate : $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
2. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์
3. กรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

สารออกซิไดซิงรีเอเจนต์ (oxidizing reagent)

ซังโซเดียมโพลิบเดท (sodium molybdate) 23.50 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร นำไปวางลงในอ่างน้ำเย็น จากนั้นค่อยเติมกรดซัลฟูริก

(H_2SO_4) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ 300 มิลลิลิตร แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร (พัก 5-10 นาที แล้วค่อยใส่ครั้งต่อไป) โดยค่อยๆ เทลงตามขอบของขวดวัดปริมาตร เสร็จแล้ว เติมกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ความเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์ 400 มิลลิลิตร แบ่งใส่ครั้งละ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

-ชั่งตัวอย่างใส่เจาห์ฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างอาหาร 1.5 กรัม และชั่งตัวอย่างมูล 0.5 กรัม

-เติมออกซิไดซิงรีเอเจนต์ 12 มิลลิลิตร

-นำไปย่อยบนเตาย่อยด้วยไฟปานกลางจนสารเป็นสีเหลืองหรือสีส้มและมีไอน้ำเกาะบริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่จึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

-เติมกรดเปอร์คลอริก 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยต่ออีกครั้งจนปรากฏไอน้ำบริเวณผิวด้านในของหลอด 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

จากวิธีการดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในตัวอย่างอาหารและมูลที่ได้
จากการทดลองโดยใช้สมการนี้

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

A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

mlAl = ปริมาตรของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนปรับปริมาตร

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้อย่างน้อย

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

หมายเหตุ (ค่า EF โดยปกติมีค่า 389-400 มิลลิกรัมต่อลิตร)

การวิเคราะห์ปริมาณทราย

อุปกรณ์

- เตาเผา (Muffle Furnance)
- ถ้วยเผา (Crucible)
- 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 (ที่รู้น้ำหนักแน่นอน)
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 ลงไปในแก้ว นำไปประเหยให้แห้งบน Hot plate โดยใช้ไฟอ่อนๆ (เพื่อป้องกันการกระเด็นของกรด) นานประมาณ 1 ชั่วโมง
7. เติม HCl 2 N จำนวน 20-25 ml ต้มต่อไปนานประมาณ 5-10 นาที
8. นำมากรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 40 ใช้น้ำกลั่นที่ต้มให้ร้อนล้างตะกอนจนหมดกรด (ทดสอบดูโดยใช้กระดาษลิตมัส)
9. นำกระดาษกรองใส่ลงในถ้วยเผาใบเดิม อบให้แห้งในถ้วย และเผาให้หมดควันก่อน แล้วจึงนำไปเผาในเตาเผา 550°-600°C นาน 30 นาที นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก

ขั้นตอนการคำนวณ

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

$$C = \text{น้ำหนักถ้วยเผา+AIA}$$

$$B = \text{น้ำหนักถ้วยเผา}$$

$$W = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

การวิเคราะห์แป้ง

Blank

ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

1. เติมน้ำ ประมาณครึ่ง flask เขย่าแรงๆ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

2. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
3. นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
4. ไปเปตสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. เติม HCl 25 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ
6. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นให้ตัวอย่างเย็น ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
7. เติม Sodium Phosphotungstate 4 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร
8. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
9. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
10. 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) นำส่วนใสมาวัดค่า α

การคำนวณ

$$C = \frac{\alpha - \alpha' \times 100}{[\alpha]_D^{20^\circ} \times L}$$

α = ค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง

α' = ค่าที่วัดได้จาก Blank

$[\alpha]_D^{20^\circ}$ = 184.0 (ใช้ค่าทั่วไป)

L = ความยาวหลอดวัด (dm.)

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

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลัง

อาหารทดลอง	อาหารควบคุม	อาหารควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์
ไนโตรเจนในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	2.97	2.56
ไนโตรเจนในมูล (เปอร์เซ็นต์)	3.60	2.84
โครมิกออกไซด์ใน อาหาร (เปอร์เซ็นต์)	0.35	0.32
โครมิกออกไซด์ในมูล (เปอร์เซ็นต์)	1.57	1.16
ไขมันในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	8.67	7.00
ไขมันในมูล (เปอร์เซ็นต์)	3.73	1.25
พลังงานรวมในอาหาร (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4562.85	4507.25
พลังงานรวมในมูล (กิโล แคลอรีต่อกิโลกรัม)	3965.37	4030.16

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการย่อยได้ของโภชนะของอาหารทดลอง

อาหารทดลอง ^{1/}	1	2	3	4	5	6
ไนโตรเจนในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	3.21	3.11	3.35	3.27	3.22	3.18
ไนโตรเจนในมูล (เปอร์เซ็นต์)	4.16	3.81	4.32	3.83	3.56	3.33
โครมิกออกไซด์ในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	0.44	0.41	0.39	0.42	0.44	0.46
โครมิกออกไซด์ในมูล (เปอร์เซ็นต์)	1.97	1.73	1.70	1.72	1.71	1.60
ไขมันในอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	8.15	9.50	8.89	7.28	8.23	8.33
ไขมันในมูล (เปอร์เซ็นต์)	2.39	2.69	2.80	1.22	1.55	1.42
พลังงานรวมในอาหาร (กิโล แคลอรีต่อกิโลกรัม)	4450.22	4514.98	4461.37	4473.60	4537.82	4680.83
พลังงานรวมในมูล (กิโล แคลอรีต่อกิโลกรัม)	4106.32	4221.30	4248.15	3930.27	3937.78	3569.60

หมายเหตุ ^{1/} สูตรที่ 1 อาหารควบคุม (control) รูปอาหารผง

สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ รูปอาหารผง

สูตรที่ 4 อาหารควบคุม (control) ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ผ่านกระบวนการอัดเม็ด

ตารางผนวกที่ 3 ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนที่ใช้ในการเลี้ยงไก่เนื้อ 1-45 วัน

วัน/เดือน/ปี	วันที่	9.00 น.	12.00 น.	15.00 น.
9/5/2008	1	72	73	72
10/5/2008	2	79	78	72
11/5/2008	3	72	72	78
12/5/2008	4	79	72	78
13/5/2008	5	79	72	78
14/5/2008	6	79	78	79
15/5/2008	7	72	78	79
16/5/2008	8	79	73	79
17/5/2008	9	66	72	72
18/5/2008	10	72	79	72
19/5/2008	11	71	78	72
20/5/2008	12	71	71	79
21/5/2008	13	72	72	72
22/5/2008	14	72	72	72
23/5/2008	15	79	79	72
24/5/2008	16	78	78	72
25/5/2008	17	73	73	72
26/5/2008	18	72	72	72
27/5/2008	19	79	78	72
28/5/2008	20	78	72	78
29/5/2008	21	78	72	78
30/5/2008	22	72	79	73
31/5/2008	23	79	78	72
1/6/2008	24	78	78	79
2/6/2008	25	71	73	78

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	วันที่	9.00 น.	12.00 น.	15.00 น.
3/6/2008	26	72	73	78
4/6/2008	27	72	79	72
5/6/2008	28	78	72	79
6/6/2008	29	72	79	78
7/6/2008	30	78	79	71
8/6/2008	31	79	72	72
9/6/2008	32	79	78	72
10/6/2008	33	79	78	79
11/6/2008	34	72	72	79
12/6/2008	35	72	73	72
13/6/2008	36	79	73	78
14/6/2008	37	79	73	78
15/6/2008	38	72	73	72
16/6/2008	39	78	73	73
17/6/2008	40	72	73	72
18/6/2008	41	72	72	79
19/6/2008	42	78	72	78
20/6/2008	43	78	72	78
21/6/2008	44	78	72	72
22/6/2008	45	78	72	73

ชื่อ-นามสกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด
สถานที่เกิด
ประวัติการศึกษา

ประวัติการศึกษา

นางสาวปรีดา คำศรี
31 ธันวาคม 2527
จังหวัดตรัง
ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสามัคคีศึกษา จ. ตรัง
พ.ศ. 2546
วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ. 2550

