



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตว์บาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ

Effects of Dietary Enzyme Supplementation in Cassava Pulp Diet on Broiler Performance

นามผู้วิจัย นางสาวธิดาพร สุดยิ่ง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร พันธุ์ ส่งเสริม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ

Effects of Dietary Enzyme Supplementation in Cassava Pulp Diet on Broiler Performance

โดย

นางสาวธิดาพร สุขยิ่ง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

ธิดาพร สุดยิ่ง 2552: ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรประพันธ์ ส่งเสริม, Ph.D. 103 หน้า

การศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes ในสูตรอาหาร ใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ Ross 308 อายุ 21 วัน จำนวน 360 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว เลี้ยงในกรงทดลองที่มีถาดรองรับสิ่งขับถ่าย ทำการสุมไก่เนื้อให้กินอาหารทดลอง 6 สูตร คือ อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10% (สูตรที่ 1, 2 และ 3) และอาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10% เสริมด้วยเอนไซม์ (NSP-degrading enzymes) (สูตรที่ 4, 5 และ 6) ตามลำดับ จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้เอนไซม์และระดับของกากมันสำปะหลัง รวมทั้งอิทธิพลของแต่ละปัจจัย ต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีนและไขมัน ($P>0.05$) แต่การเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหาร มีแนวโน้มที่จะทำให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารของไก่เนื้อเพิ่มสูงขึ้น ($P = 0.0595$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ โดยใช้ไก่เนื้ออายุ 1 วัน จำนวน 1,800 ตัว แบ่งไก่เนื้อออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แบ่งเป็นเพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ และแต่ละซ้ามี 50 ตัว ใช้การจัดรูปของการทดลองแบบ 2 x 3 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก ทำการสุมไก่เนื้อให้กินอาหารทดลองเหมือนกับที่ใช้ในการทดลองที่ 1 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้เอนไซม์และระดับของกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อลำไส้เล็กส่วนเจจุนัมของไก่เนื้อ ($P>0.05$) การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การเสริมเอนไซม์ในการทดลองนี้ไม่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อให้ดีขึ้น แต่มีผลให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง ($P<0.01$) อย่างไรก็ตามไม่พบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อคุณภาพซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเจจุนัม ได้แก่ ความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และสัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ ($P>0.05$)

Tidaporn Soodying 2009: Effects of Dietary Enzyme Supplementation in Cassava Pulp Diet on Broiler Performance. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Ornprapun Songserm, Ph.D. 103 pages.

Two experiments were conducted to evaluate effects of dietary enzyme supplementation in cassava pulp diets on broiler performance. In the first experiment, three hundred and sixty, 21 day of age, male Ross 308 broilers were used to evaluate nutrients digestibility of cassava pulp diets supplemented with dietary NSP-degrading enzymes. The birds were randomly assigned into six dietary treatment combinations. Each treatment combination consisted of 6 replicate groups of 10 birds. The birds were kept in metabolic cages where excreta could be collected. Each group of the birds was randomly fed an experimental diet as follows: diets containing with cassava pulp 0, 5 and 10% (Diet 1, 2 and 3) and diets containing with cassava pulp 0, 5 and 10% supplemented with dietary NSP-degrading enzymes (Diet 4, 5 and 6), respectively. No interaction effect between enzyme supplementation and cassava pulp level in diets neither nor effect of each factor on the protein and fat digestibility of experimental diets ($P>0.05$). However, supplementation of NSP-degrading enzymes in diet tended to improve metabolizable energy of diet ($P = 0.0595$).

The second experiment was conducted to study effects of dietary enzyme supplementation in cassava pulp diets on broiler performance, carcass trail and histological properties of the digestive tract of broilers. One thousand and eight hundred day-old chicks were divided into six dietary treatment combinations. Each treatment combination consisted of 6 replications, 3 replications of male and 3 replications of female, with fifty chicks per replication. Broilers diets were assigned using 2 x 3 factorial experiment in randomized complete block design. Each group of birds was randomly fed one of dietary treatments similar to the first experiment. Results of the study have shown no interaction effect between enzyme supplementation and cassava pulp level in diets on broiler performance, carcass trail and histological properties of the digestive tract in jejunum of broilers ($P>0.05$). An increase in cassava pulp level up to 10% in diet significantly decreased body weight gain of broilers comparing to that of birds fed diets containing 0 and 5% cassava pulp ($P<0.05$). Supplementation of NSP-degrading enzymes in this experiment did not improve the performance of broilers, whereas significantly decrease feed intake of broilers ($P<0.01$). However, there were no effect of each factor on carcass quality and histological properties of the jejunum examined by villus height, crypt depth and the ratio of villus height per crypt depth ($P>0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรประพันธ์ ส่งเสริม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาตมางกูร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุรศ เรืองพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษาและด้านการทดลองอย่างใกล้ชิด ตลอดจนการเขียนรายงานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไพโชค ปัญจะ อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาลกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนสถานที่ทำงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในระหว่างดำเนินการทดลอง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์อาหารสัตว์ รวมทั้งขอขอบพระคุณ บริษัท ChemGen Corp. ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ WheatEase[®]-M Mp ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่านที่เป็นผู้ให้กำลังใจในการปฏิบัติงาน และเป็นผู้อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้ มีระเบียบวินัย มีคุณธรรมจริยธรรม มีจรรยาบรรณ มีความคิดที่ดี และเป็นคนดีของสังคม ข้าพเจ้าขอขอบประ โยชน์และคุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และคณาจารย์ที่สั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ขอให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาสืบต่อไป

ธิดาพร สุดยิ่ง

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	57
สรุปและข้อเสนอแนะ	79
สรุป	79
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	93
ประวัติการศึกษา	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาของหัวมันสำปะหลัง	6
2	คุณค่าทางโภชนาต่างๆ ของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น	7
3	ระดับการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ	12
4	สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง	14
5	ข้อมูลการผลิตแป้งมันสำปะหลังต่อชั่วโมงการทำงานจริงของโรงงานจากแหล่งต่างๆ	18
6	ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	19
7	คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	21
8	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของกากมันสำปะหลัง	43
9	ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลังและอาหารทดลองที่ใช้กากมันสำปะหลัง	44
10	องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง	44
11	ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 18-38 วัน	45
12	ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์วิตามินและแร่ธาตุ	46
13	ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 1-17 วัน	53
14	ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 18-38 วัน	54
15	ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 39-45 วัน	55
16	ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารทดลอง	59
17	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 1-17 วัน	65
18	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 18-38 วัน	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 39-45 วัน	67
20	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-17 วัน	68
21	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อเมื่ออายุ 18-38 วัน	69
22	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อเมื่ออายุ 39-45 วัน	70
23	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อเมื่ออายุ 1-45 วัน	71
24	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ	73
25	ผลของระดับเอนไซม์ในอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ	74
26	ผลของระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ	75
27	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนเจจุน้ำของไก่เนื้อเมื่ออายุ 14 วัน	77
28	ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนเจจุน้ำของไก่เนื้อเมื่ออายุ 28 วัน	78
ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง 45 วัน	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในอุตสาหกรรม	13
2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงานที่ใช้เครื่องดีแคนเตอร์ (decanter)	17
3 โครงสร้างของอะไมโลส	20
4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	21
5 ชนิดของ NSP	23
6 โครงสร้างของเซลลูโลส เพคติน เฮมิเซลลูโลส (ไซแลน) และลิกนิน	25
7 โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของระบบทางเดินอาหาร	33
ภาพผนวกที่	
1 ความสูงของวิลลัสและความลึกของครีพท์ของลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมของไก่เนื้อ	100

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ

Effects of Dietary Enzyme Supplementation in Cassava Pulp Diet on Broiler Performance

คำนำ

การผลิตไก่เนื้อเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ในปัจจุบันมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เนื่องจากปริมาณความต้องการบริโภคเนื้อไก่ภายในและต่างประเทศเพิ่มจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ต้องมีการผลิตไก่เนื้อเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (กรมปศุสัตว์, 2550) จึงเป็นอุตสาหกรรม การส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความต้องการ วัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ประกอบกับมีการแข่งขันทางการตลาดที่ต้องการวัตถุดิบ อาหารสัตว์บางชนิดมาผลิตเป็นเอทานอลและไบโอดีเซล เช่น ข้าวโพด จึงทำให้วัตถุดิบดังกล่าวมี ราคาแพงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิตสัตว์

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังที่สำคัญ ของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันที่ผลิตได้นั้นจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรม อื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป กระดาษ สิ่งทอ และกาว เป็นต้น จากขั้นตอน ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้น พบว่ายังคงมีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานจำนวนหนึ่งที่เรียกว่า กากมันสำปะหลัง ซึ่งมีส่วนประกอบที่เป็นแป้งเหลืออยู่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Grace, 1977) อาจจะมีศักยภาพมากพอที่สามารถนำกากมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เพื่อแก้ไขปัญหา การขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามกากมันสำปะหลังนั้นมีเชื้อใยอยู่สูง ซึ่งเป็น ข้อจำกัดที่อาจส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ได้หากใช้ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม

ปัจจุบันมีการนำเอนไซม์มาใช้ผสมอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับอาหาร สัตว์บางประเภท เช่น ไก่ และสุกร เนื่องจากการย่อยใยของสัตว์เหล่านี้มักเกิดขึ้นได้น้อย ทำให้มี ส่วนของอาหารที่ไม่ได้ย่อยถูกขับออกมา กากมันสำปะหลังจะมีเชื้อใยพวกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่ แป้ง (non-starch polysaccharide; NSP) โดย NSP ที่ละลายน้ำได้มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ พองตัว เป็นวุ้น ทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยา ของเอนไซม์จากตัวสัตว์ ส่งผลให้การย่อยได้ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่เล็ก ดังนั้นการเสริม

NSP-degrading enzymes จะช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้และลดความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร โดยเอนไซม์ต่างๆ สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสิ่งย่อยได้ ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ทำให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์มากขึ้น (หรรษา และเนริสา, 2544) ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาถึงผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกามันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes ในไก่เนื้อ
2. เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กามันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง

1. ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. ในสมัยก่อนจะแบ่งมันสำปะหลังเป็นชนิดหวานกับชนิดขม โดยชนิดขมคือ *Manihot esculenta* Crantz. และชนิดหวานคือ *Manihot palmate* หรือ *Manihot dulcis* มันสำปะหลังมีชื่อสามัญหลายชื่อ ได้แก่ cassava, mandioca, topica และ yacca (คณัย, 2537) นักวิทยาศาสตร์ได้มีการจัดหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลังดังนี้ (ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง, 2537)

Order:	Geraniales
Class:	Dicotyledonae
Sub-class:	Archichlamydeae
Sub-division:	Angiospermae
Family:	Euphorbiaceae
Genus:	Manihot
Species:	Esculenta

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและพลังงานที่สำคัญ โดยรากของมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริง (true หรือ wiry roots) และรากสะสม (modified หรือ storage roots) รากทั้งสองชนิดจะเจริญเติบโตลงในดิน โดยรากจริงจะเจริญเติบโตไปในทางด้านลึกมากกว่าด้านข้าง ส่วนรากสะสมจะเจริญเติบโตไปทางด้านข้างรอบต้น เมื่อมันสำปะหลังอายุประมาณ 2 เดือนหลังจากการปลูก จะมีการสะสมอาหารในรูปแป้งไว้ที่รากสะสมเหล่านี้ ซึ่งเกิดจากการสะสมแป้งภายในเซลล์พาราไคมะ (parenchyma cell) เรียกรากสะสมนี้ว่า หัว ซึ่งจะมีการขยายใหญ่ตามอายุ โดยทั่วไปต้นมันสำปะหลังจะมีรากสะสมหรือหัวอยู่ประมาณ 5-20 หัวต่อต้น จำนวนหัว รูปร่าง ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง และปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid) ในหัวมันสำปะหลังจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ลำต้นของมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม สูงประมาณ 1-5 เมตร มีอายุได้นานหลายปี เป็นไม้เนื้ออ่อน ลักษณะภายในลำต้นเหมือนพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป ใบของมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว (single leaf) แผ่นใบจะเว้าเป็นแฉก (lobe) มีรูปร่างและ

จำนวนแฉกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ทั้งนี้เป็นพืชทนแล้ง ปลูกได้ในเขตร้อน เจริญเติบโตได้ดีในดินทุกชนิด เป็นพืชวันสั้น ผลผลิตจะลดลงถ้าช่วงแสงของวันยาวเกิน 10-12 ชั่วโมง (จรุงสิทธิ์ และ อัจฉรา, 2547) นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่ทนทานต่อโรคและแมลงได้ดี (เจริญศักดิ์, 2532)

พันธุ์มันสำปะหลังเพื่อการอุตสาหกรรมที่ได้รับการรับรองพันธุ์ และแนะนำแล้วในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 พันธุ์ระยอง 3 พันธุ์ระยอง 60 พันธุ์ระยอง 90 พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ระยอง 72 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ห้วยบง 60 สำหรับมันสำปะหลังพันธุ์ที่เหมาะสมในการรับประทาน ได้แก่ พันธุ์ห่านาที (จรุงสิทธิ์ และ อัจฉรา, 2547)

หัวมันสำปะหลังสดประกอบด้วยน้ำ 60-65 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำหนักแห้ง 35-40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับชนิดของดิน ความชื้นในดิน ภูมิอากาศ อายุการเก็บเกี่ยว ส่วนของน้ำหนักแห้งมีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งและน้ำตาล หรือคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย 90 เปอร์เซ็นต์ หรือ 20-30 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสด (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) คุณค่าทางโภชนาของมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 1

หัวมันสำปะหลังสดจะมีกรดไฮโดรไลซยานิกที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์ ซึ่งหัวมันสำปะหลังสดที่ผลิตได้จะถูกใช้ประโยชน์ในการผลิตแป้งสำหรับเป็นอาหารคนและอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ รวมทั้งการผลิตเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์ ในระหว่างการแปรรูปหัวมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว สารพิษกรดไฮโดรไลซยานิกในหัวมันสดจะเกิดการสลายตัวและระเหยออกสู่อากาศ ทำให้มีปริมาณสารพิษดังกล่าวหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังน้อยลง ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) เมื่อพิจารณาถึงระดับความเป็นพิษของกรดไฮโดรไลซยานิกต่อสัตว์สามารถแบ่งระดับความเป็นพิษของกรดไฮโดรไลซยานิกในมันสำปะหลังได้ 3 ระดับ คือ กลุ่มไม่เป็นพิษมีระดับของกรดไฮโดรไลซยานิกน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด กลุ่มเป็นพิษปานกลางมีระดับของกรดไฮโดรไลซยานิก 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด และกลุ่มเป็นพิษมาก (อันตราย) มีระดับของกรดไฮโดรไลซยานิกมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด (Bolhies, 1954)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาของหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางโภชนา	หัวมันสด ¹	หัวมันสด ²	หัวมันแห้ง ³
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	63.80	63.25	10.63
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	27.65	27.73	70.63
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	0.96	1.18	2.63
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	0.26	0.08	0.51
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	1.40	0.85	2.20
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	0.85	0.99	1.73
โปตัสเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่มีรายงาน	0.26	0.43
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่มีรายงาน	0.04	0.08
กรดไฮโดรไซยานิก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่มีรายงาน	173.00	100.00

ที่มา: ¹ โสภณ (2526)

^{2,3} พวงเพชร (2547)

Kanto and Juttupornpong (2005) ได้แสดงองค์ประกอบทางโภชนาของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพด ข้าวฟ่าง และปลายข้าว (ตารางที่ 2) ซึ่งมันสำปะหลังมีโปรตีนระดับต่ำและมีกรดอะมิโนต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารประเภทอื่นๆ นอกจากนั้นยังมีระดับไขมันต่ำ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังจึงต้องเพิ่มปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารโดยการผสมวัตถุดิบแหล่งโปรตีนอื่น เช่น กากถั่วเหลือง เป็นต้น

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการต่างๆ ของมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น

องค์ประกอบทางโภชนาการ (เปอร์เซ็นต์)	มันสำปะหลัง	ปลายข้าว	ข้าวโพด	ข้างฟาง
โปรตีน	2.00	8.00	8.00	11.80
ไลซีน	0.09	0.27	0.25	0.23
เมทไธโอนีน	0.03	0.27	0.19	0.16
เมทไธโอนีน + ซีสตีน	0.06	0.32	0.39	0.27
ทริปโตเฟน	0.02	0.10	0.09	0.10
ทรีโอนีน	0.07	0.36	0.32	0.33
ไอโซลูซีน	0.07	0.45	0.34	0.44
อาร์จินีน	0.12	0.36	0.40	0.39
ลูซีน	0.12	0.71	1.17	1.38
เฟนิลอะลานีน + ไทโรซีน	0.12	1.15	0.81	0.96
ฮิสติดีน	0.03	0.18	0.25	0.22
เวอรีน	0.09	0.53	0.46	0.55
ไกลซีน	0.08	0.71	0.33	0.33
พลังงาน (ME) สุกร (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3360	3595	3300	3140
พลังงาน (ME) สัตว์ปีก (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3500	3500	3370	3250
ไขมัน	0.75	0.90	4.00	3.00
เยื่อใย	4.00	1.00	2.50	3.00
แคลเซียม	0.12	0.03	0.01	0.04
ฟอสฟอรัส	0.05	0.04	0.10	0.10

ที่มา: Kanto and Juttupornpong (2005)

อุทัย และสุกัญญา (2547) ได้แนะนำวิธีการปรับมันสำปะหลังให้มีคุณค่าเท่ากับข้าวโพด โดยการผสมมันสำปะหลัง (มันบด) กับกากถั่วเหลืองและกรดอะมิโนสังเคราะห์เพื่อยกระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในมันเส้นให้เทียบเท่ากับข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังและข้าวโพดเป็นวัตถุดิบพลังงานเหมือนกันแต่มันสำปะหลังมีโปรตีนและไขมันต่ำกว่าข้าวโพด นอกจากนี้มันสำปะหลังยังไม่มีสารสีสำหรับไข่แดงและผิวหนังของสัตว์ปีก การเปรียบเทียบของราคาวัตถุดิบ

อาหารทั้งสองชนิดจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เพราะคุณค่าอาหารไม่เท่ากัน จึงต้องปรับคุณค่าทางอาหารของมันเป็นค่าหลังให้เทียบเท่าข้าวโพด โดยอาจทำได้หลายรูปแบบดังนี้

มันเป็นค่าหลังปรับโปรตีน คุณค่าทางอาหารเท่ากับข้าวโพด 1 กิโลกรัม แบบที่ 1 คือ

มันเส้น 0.87 กิโลกรัม + กากถั่วเหลือง 0.13 กิโลกรัม + คีแอล-เมทไธโอนีน 0.001 กิโลกรัม = ข้าวโพด 1 กิโลกรัม

มันเป็นค่าหลังปรับโปรตีน คุณค่าทางอาหารเท่ากับข้าวโพด 1 กิโลกรัม แบบที่ 2 คือ

มันเส้น 0.85 กิโลกรัม + กากถั่วเหลือง 0.13 กิโลกรัม + น้ำมันรำ 0.02 กิโลกรัม + คีแอล-เมทไธโอนีน 0.001 กิโลกรัม = ข้าวโพด 1 กิโลกรัม

มันเป็นค่าหลังปรับโปรตีน คุณค่าทางอาหารเท่ากับข้าวโพด 1 กิโลกรัม แบบที่ 3 คือ

มันเส้น 0.85 กิโลกรัม + กากถั่วเหลืองเอ็กทรา 0.15 กิโลกรัม + คีแอล-เมทไธโอนีน 0.001 กิโลกรัม = ข้าวโพด 1 กิโลกรัม

Olson *et al.* (1969) แนะนำว่าการใช้มันเป็นค่าหลังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนข้าวโพดในอาหารโดยไม่มีผลกระทบต่อระดับโปรตีนและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารผสม กระทำได้โดยใช้มันเป็นค่าหลัง 7.5 ส่วน กากถั่วเหลืองและไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชในอัตรา 1.5 และ 1 ส่วน ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ในอัตรา 10 ส่วน

2. การใช้มันเป็นค่าหลังในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ

การใช้มันเป็นค่าหลังในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับในวงการปศุสัตว์อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และเกษตรกรทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นในสุกร สัตว์ปีก โคเนื้อ โคนม และปลา เป็นต้น (อุทัย และคณะ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับ Oke (1978) ที่ได้รายงานว่ามันเป็นค่าหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่ดีทั้งกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวและกระเพาะรวม

2.1 สุกกร

อนุชา และคณะ (2543) ได้แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังสามารถทดแทนปลายข้าวได้ทั้งหมด หรือใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานหลักในอาหารสุกกระยะหย่านม (อายุ 4-8 สัปดาห์) โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและสุขภาพของสุกแต่ประการใด ในขณะที่สุดาร์ตน์ และคณะ (2547) รายงานว่าการใช้อาหารสูตรมันสำปะหลังในลูกสุกหลังหย่านม (4-8 สัปดาห์) ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของลูกสุกดีกว่าการใช้อาหารสูตรปลายข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อาหารสูตรมันสำปะหลังสามารถทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกหย่านมเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ทั่วไป จึงอาจกล่าวได้ว่ามันสำปะหลังสามารถทดแทนธัญพืชในอาหารสุกหย่านมได้อย่างเต็มที่ แม้ว่ามันสำปะหลังที่ได้นำมาศึกษาในครั้งนี้เป็นมันเส้นจากการผลิตโดยลานมันทั่วไป มิได้ผ่านการทำให้สุกก่อน แต่ลูกสุกที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังก็ได้แสดงอาการท้องเสีย ชี้อืด ทั้งนี้อาจมีผลมาจากแป้งในมันสำปะหลังย่อยได้ง่าย ลูกสุกสามารถย่อยได้ดี นอกจากนี้สูตรอาหารมันสำปะหลังยังมีผลทำให้สภาวะในทางเดินอาหารเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโทษในทางเดินอาหาร จึงทำให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

อนุชา (2544) ยังรายงานอีกว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ทั้งหมดในอาหารสุกกระยะรุ่น-ขุน โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ สอดคล้องกับ พาพร และคณะ (2546) ที่รายงานว่ามันสำปะหลังที่มีคุณภาพดีสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ทั้งหมดในสูตรอาหารสุกกระยะรุ่น-ขุน โดยสุกที่ได้กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากสูตรข้าวโพด

นอกจากมันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดและธัญพืชอื่นในอาหารสุกกระยะรุ่น-ขุน ได้เป็นอย่างดีแล้ว มันสำปะหลังยังสามารถใช้ในสูตรอาหารสุกพันธุ์ได้ดีเช่นเดียวกับการใช้ปลายข้าว โดยไพรัตน์ และคณะ (2534) ได้ทดลองใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับปลายข้าวเป็นอาหารแม่สุกอุ้มท้องและแม่สุกเลี้ยงลูก พบว่าแม่สุกที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสมรรถภาพการสืบพันธุ์ดีเช่นเดียวกับแม่สุกที่กินอาหารสูตรปลายข้าว และอัตราการเกิดมัมมีหรือตัวอ่อนที่ผิดปกติมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2 ไก่เนื้อ ไก่ไข่ และเป็ด

สาโรช และเยาวมาลย์ (2529) รายงานว่ามันสำปะหลังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานหลักได้เช่นเดียวกับข้าวโพด ปลายข้าว และข้าวฟ่างในอาหารไก่เนื้อ ซึ่งไก่เนื้อที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีแนวโน้มของน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักน้อยกว่าอาหารสูตรอื่นๆ เล็กน้อย โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งยังรายงานว่ามันสำปะหลังยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานหลักเพียงชนิดเดียวในสูตรอาหารไก่รุ่นและไก่ไข่ โดยมีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างจากไก่ที่กินสูตรอาหารข้าวโพด ปลายข้าว และข้าวฟ่าง นอกจากนี้แล้วยังทำให้อัตราการตายต่ำ และไม่พบการแสดงอาการเป็นพิษจากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับ ชูพงษ์ และอุทัย (2532) ได้ทำการศึกษาผลการใช้อาหารสูตรข้าวโพด ข้าวฟ่าง และมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้ออายุ 4-7 สัปดาห์ พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีการเพิ่มน้ำหนักตัวและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักน้อยกว่าอาหารสูตรข้าวโพดและข้าวฟ่าง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ สรัสนันท์ (2549) ศึกษาการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้อที่กินสูตรอาหารมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานหลักจะมีปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตลอดช่วงอายุ 0-5 สัปดาห์ ไม่แตกต่างจากไก่เนื้อที่กินสูตรอาหารข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน ($P>0.05$)

สุวรรณณี (2543) ศึกษาผลการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ที่ระดับ 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดทุกระดับในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่ ($P<0.05$) แต่ทำให้ระดับค่าคะแนนสีของไข่แดงต่ำลง ($P<0.01$) และต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหลต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารสูตรข้าวโพด ($P<0.01$) ส่วนการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของตัวสัตว์แต่ประการใด แต่ที่ระดับการทดแทนข้าวโพด 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารสูตรข้าวโพด ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อลักษณะซากและต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

สุวรรณณา และอุทัย (2545) ได้ทำการเปรียบเทียบผลการใช้ข้าวโพด มันเส้น และมันอัดเม็ดเป็นอาหารไก่เนื้อต่อสภาพสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ และพบว่าไก่เนื้อที่กินอาหารทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณโปรตีนในเนื้อเยื่อผนังลำไส้ (mucosal protein) ในส่วนลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน (คูโอดินัม เจจูนัม และไอเลียม) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไก่เนื้อที่กินสูตร

อาหารข้าวโพดมีกิจกรรมของน้ำย่อยซูเครสและน้ำย่อยมอลเทส (sucrase and maltase activity) ในส่วนดูโอเดนิม และกิจกรรมของน้ำย่อยซูเครสในส่วนเจจูนัมต่ำกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารมันเส้น และมันอัดเม็ดอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังสามารถถูกย่อยและดูดซึมได้ง่ายในส่วนต้นของลำไส้เล็ก ทำให้กลูโคสหลงเหลืออยู่ในส่วนลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนปลายน้อย จึงไม่มีกลูโคสเหลือพอสำหรับจุลินทรีย์ที่หลงเหลือเข้ามากับอาหาร โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ เช่น *Salmonella* spp. หรือ *Escherichia coli* ทำให้จุลินทรีย์เหล่านั้นไม่สามารถเพิ่มจำนวนและเจริญในส่วนลำไส้เล็กได้ จึงลดการทำลายผนังลำไส้เล็ก และอาจทำให้สัตว์ที่กินมันสำปะหลังมีสุขภาพดี ปราศจากโรคทางเดินอาหาร ส่วนปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก และสภาพกรด-ด่างในไส้ตั้งของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กรดบิวทิริกของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารมันเส้นมีปริมาณมากกว่าไก่ที่ได้รับอาหารข้าวโพดและมันอัดเม็ด ตามลำดับ ($P < 0.05$) ซึ่ง Jacobasch *et al.* (1999) รายงานว่า กรดบิวทิริกในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อจะมีผลในการป้องกันการอักเสบของลำไส้และป้องกันมะเร็งในลำไส้ใหญ่ส่วนโคลอน การที่มันเส้นให้กรดบิวทิริกสูงอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและหน้าที่ของเซลล์ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อ และส่งเสริมให้ไก่เนื้อมีสุขภาพดี มีความทนทานต่อโรคต่างๆ สูงขึ้น

วรพันธ์ และคณะ (2547) รายงานว่ามันสำปะหลังสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวได้ทั้งหมดในสูตรอาหารเป็ดเนื้อ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต อย่างไรก็ตามเป็ดเนื้อที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักน้อยกว่าเป็ดเนื้อที่กินอาหารสูตรปลายข้าว ซึ่งอาจเนื่องมาจากสูตรอาหารมันสำปะหลังที่อัดเม็ดในการทดลองครั้งนี้เกิดการแตก่วนกลายเป็นฝุ่นได้ง่ายเมื่อเทียบกับอาหารเม็ดสูตรปลายข้าว ทั้งนี้เพราะในกระบวนการอัดเม็ดมิได้มีการใช้ไอน้ำ จึงเป็นสาเหตุให้มีปริมาณการกินอาหารที่สูงกว่า ซึ่งอาจเนื่องจากการตกหล่นของอาหารมากกว่า ส่งผลให้มีการใช้อาหารอย่างสิ้นเปลือง จึงทำให้อัตราการแลกน้ำหนักของเป็ดเนื้อลดลง แต่การใช้อาหารสูตรมันสำปะหลังไม่มีผลทำให้น้ำหนักสุดท้ายและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวันแตกต่างกับอาหารสูตรปลายข้าว และพบว่าเป็ดเนื้อที่กินสูตรอาหารมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันในช่องท้อง และต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าเป็ดเนื้อที่กินสูตรอาหารปลายข้าว

2.3 สัตว์น้ำ

อรพินท์ และคณะ (2542) ได้ศึกษาผลของการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในสูตรอาหารปลาอุกถูกผสม พบว่าสามารถใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยให้สมรรถภาพการผลิตได้เช่นเดียวกันกับสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดเป็นหลัก

อุทัย และสุกัญญา (2547) ได้สรุประดับการใช้มันสำปะหลังสูงสุดในการสัตว์แต่ละชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังในการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารไก่เนื้อ เนื่องจากสัตว์ปีกมีความไวต่อความฟามของอาหารและระดับเยื่อใยในอาหาร ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้มันสำปะหลังแทนที่ข้าวโพดเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่เนื้อ

ตารางที่ 3 ระดับการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดสัตว์	ระดับสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
สุกร (หลังหย่านม, รุ่น, ขุน, พันธุ์)	40-60
ไก่เนื้อ	25-30
ไก่ไข่	40-45
เป็ด (เนื้อ, ไข่, พันธุ์)	35-40
โคเนื้อ-โคนม	35-40
สัตว์น้ำ	30-35

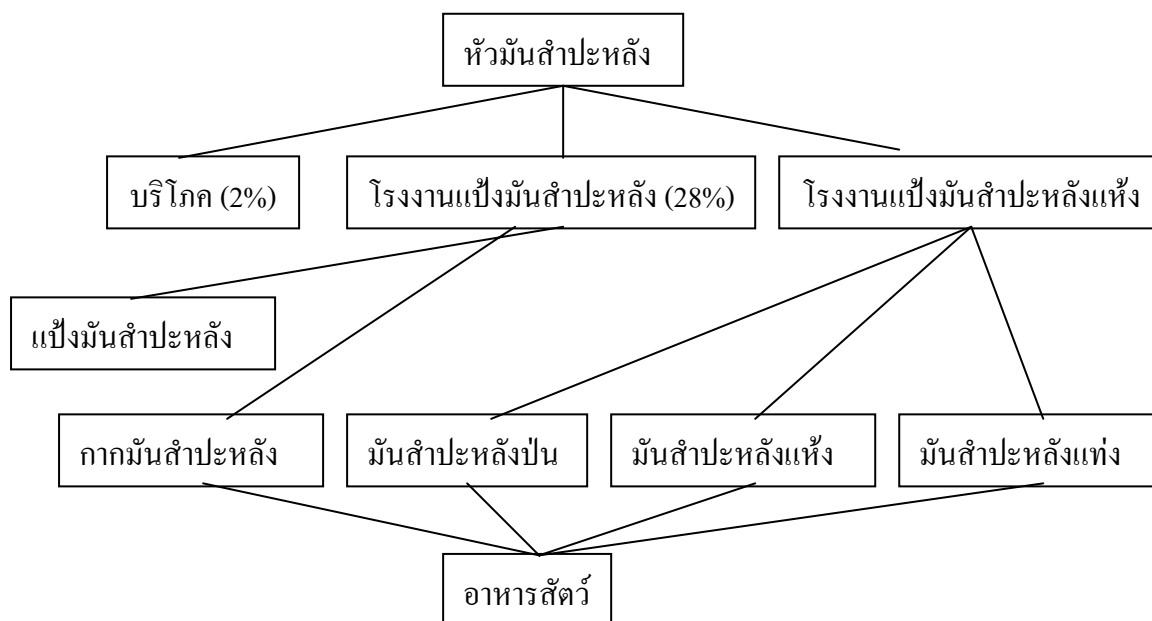
ที่มา: อุทัย และสุกัญญา (2547)

3. ผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังในอุตสาหกรรม

มันสำปะหลังโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ ชนิดหวานและชนิดขม ชนิดหวานใช้เพื่อการบริโภคโดยตรงภายในประเทศซึ่งมีเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1) เช่น นามาเชื่อม ปิ้ง หรือแปรรูปเป็นขนมหวานในรูปต่างๆ กัน ส่วนมันสำปะหลังชนิดขมจะถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (เสาวนิตย์, 2527) คือ

3.1 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น (chip) มันอัดเม็ด (pellets) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องกัน และกากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

3.2 ผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำหัวมันสดมาสกัดเป็นแป้ง (starch) โดยแป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในรูปของแป้งดิบ (native starch) และแป้งดัดแปร (modified starch) เป็นต้น



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในอุตสาหกรรม

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2522)

ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมมันสำปะหลังมานานมากกว่า 40 ปี ซึ่งในอดีตได้เชื่อว่าเป็นผู้ส่งออกแปรงมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุด และได้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นโดยการขยายออกสู่อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยารักษาโรค ซึ่งในปัจจุบันนี้มีปริมาณการผลิตหัวมันสำปะหลังสดรวมกว่า 20 ล้านตันต่อปี และปริมาณมันสำปะหลังประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อส่งขายเป็นอาหารสัตว์ในประเทศยุโรป อย่างไรก็ตามยังมีช่องทางเพิ่มปริมาณการผลิตมันสำปะหลังได้อีก โดยการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ซึ่งปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ผลผลิตในไร่ที่มีการจัดการด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นถึงระดับ 5,000 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ยังมีช่องทางปรับปรุงพันธุ์และการจัดการด้านการเก็บเกี่ยวให้มีปริมาณแปรงมากขึ้น ซึ่งรวมถึงการใช้ประโยชน์ได้ของวัสดุที่เหลือจากการผลิต (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2552)

สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยปี พ.ศ. 2550-2551 (ตารางที่ 4) เริ่มมีปริมาณผลผลิตออกสู่ตลาดแล้วประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผู้ประกอบการค้ามันสำปะหลังและแปรงมันสำปะหลังยังคงมีความต้องการวัตถุดิบใช้ในการผลิตอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับราคาส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีแนวโน้มสูงขึ้นตามราคารัฐพิธีในตลาดโลกที่สูงขึ้นมาก อีกทั้งมี

การใช้มันเส้นในการผสมอาหารเลี้ยงสัตว์มากขึ้น จึงส่งผลให้ราคาซื้อขายหัวมันสดอยู่ในเกณฑ์สูง (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2552)

ตารางที่ 4 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง

	ปี 2546 /2547	ปี 2547 /2548	ปี 2548 /2549	ปี 2549 /2550	ปี 2550 /2551
ผลผลิตและความต้องการใช้					
ผลผลิตของไทย (ล้านตันหัวมันสด)	21.44	16.94	22.58	26.41	27.62
พื้นที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	6.61	6.16	6.69	7.13	7.30
ต้นทุนการผลิตหัวมันสด (บาท/กก.)	0.88	0.92	0.84	0.85	-
ราคา (บาท/กก.)					
หัวมันสดคละ	0.80	1.33	1.29	1.21	1.80
หัวมันสดเชื้อแป้ง 25 เปอร์เซนต์	1.06	1.50	1.29	1.33	1.91
การส่งออก (ล้านตันผลิตภัณฑ์)					
มันเส้น	2.62	2.63	3.51	2.86	0.35
มันอัดเม็ด	2.73	0.40	0.22	1.65	0.52
แป้งดิบ	1.13	0.98	1.48	1.47	0.36
แป้งแปรรูป	0.61	0.63	0.60	0.7	0.12
กากมัน	0.18	0.34	0.28	0.43	0.10
รวม	7.27	4.98	6.09	6.88	1.45

ที่มา: สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร (2552)

4. กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยนั้น ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนมีประสิทธิภาพสูง โดยในช่วงแรกนั้นกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเป็นการผลิตแบบเก่า โดยใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายกล่าวคือ การแยกแป้งจะใช้วิธีตกตะกอน การอบแห้งใช้วิธีตากบนเตาเผาที่เรียกว่า แบบอังไฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลังที่ได้ (second grade tapioca starch) มีคุณภาพต่ำ จึงได้มีการพัฒนาการแยกแป้งโดยระบบเหวี่ยงแยก (separator) ที่เรียกว่า แบบสลัดแห้ง และมีการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยเทคโนโลยีการผลิตแป้งยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมมากขึ้น และมีกระบวนการผลิตที่คำนึงถึงสถานะแวดล้อมเป็นสำคัญ โดยมีการนำเทคโนโลยีที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ และมีการจัดการกับของเหลือจากกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังในโรงงานที่ใช้กันในปัจจุบันแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งในขั้นแรกของการเตรียมรับมันสำปะหลัง ทางโรงงานจะสับตัวอย่างนำมาตรวจวัดความหนาแน่น โดยใช้เครื่องวัดแบบ Reimann scale เพื่อประมาณปริมาณของแป้ง (เชื้อแป้ง) ในหัวมันสำหรับการตกลงราคาซื้อขายแล้วนำมาเทไว้บนลาน จากนั้นจะใช้รถดักหัวมันลงสู่ถังปล่อยหัวมัน แล้วผ่านระบบสายพานลำเลียง จากนั้นหัวมันจะถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงร่อนดินทราย (sand removal drum) เพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมากับหัวมัน และทำให้ผิวนอกของมันหลุดออก ซึ่งดินทรายและผิวมันจะถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ต่อไป จากตะแกรงร่อนดินทราย หัวมันจะถูกส่งไปยังเครื่องล้างหัวมัน (root washer) เพื่อทำความสะอาดโดยใช้น้ำฉีด หัวมันที่สะอาดจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมัน ซึ่งจะสับหัวมันเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว และชิ้นมันเล็กๆ นี้จะตกเข้าสู่เครื่องขูดหัวมัน (root rasper) โดยทำหน้าที่สับหัวมันให้มีขนาดเล็กลง ภายในเครื่องประกอบด้วยใบมีด (cutting blade) ขนาดใหญ่ โดยทั่วไปใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ความเร็ว 250 รอบ/นาที มีประสิทธิภาพการทำงาน 10-20 ตันหัวมันสด/ชั่วโมง จากนั้นหัวมันขนาดเล็กจะผ่านท่อที่มีลักษณะเป็นรูปขาทางลงสู่เครื่องโม้ (rasper) มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งที่มีใบมีดขนาดเล็กๆ จำนวนมาก เครื่องโม้หนึ่งตัวใช้มอเตอร์ขนาด 75-100 แรงม้า ในระหว่างการโม้มีการเติมน้ำเพื่อให้ไม่扬尘ขึ้น ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ อากมันสำปะหลังและสิ่งเจือปนต่างๆ ส่วนขั้นตอนการสกัดแป้งมีรายละเอียดดังนี้ ของเหลวจึงจะเข้าเครื่องดีแคนเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้งอาศัยหลักของแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) น้ำแป้งจากเครื่องดีแคนเตอร์จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง (extractor) โดยแยกเป็น 2 ชุดคือ เครื่องแยกหยาบ (coarse extractor) และเครื่องแยกละเอียด (fine extractor) มันสำปะหลังชั้นละเอียดจะเข้าสู่เครื่องแยกหยาบ เพื่อแยกเอาอากมันสำปะหลังออกจากน้ำ

แป้ง กากมันสำปะหลังจากเครื่องอัดกากมัน (screw press) จะถูกนำไปตาก และขายเพื่อทำเป็นอาหารสัตว์ต่อไป การทำงานของเครื่องแยกใช้หลักแรงหนีศูนย์กลางจะทำให้ได้เป็นแป้งหมาด ซึ่งจะเข้าไปสู่เครื่องอบลมร้อน ไซโคลนร้อนและเย็น ผ่านการร่อนตามลำดับ ได้เป็นแป้งมันสำปะหลังเข้าสู่หน่วยบรรจุต่อไป (กล้าณรงค์, 2542)

สำหรับฤดูกาลที่มีการผลิตแป้งมากก็จะทำให้มีกากมันสำปะหลังมากตามไปด้วย หากไม่มีการนำกากมันสำปะหลังที่เหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิ มลพิษทางอากาศจากกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในกากมันสำปะหลัง รวมทั้งการปนเปื้อนของน้ำเสียจากลานตากมันสำปะหลังสู่พื้นดินบริเวณใกล้เคียง แหล่งผิวน้ำบนดินและน้ำใต้ดิน ทั้งนี้จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตมนุษย์ในที่สุด (กล้าณรงค์, 2542)

กากมันสำปะหลัง

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (2540) ได้ทำการเก็บตัวอย่างในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 5 โรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าโรงงานแต่ละโรงงานมีกำลังการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน ทำให้มีอัตราการใช้หัวมันสำปะหลังสดที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นปริมาณกากมันสำปะหลังสดที่ได้จึงมีค่าตั้งแต่ 4.95-12.86 ตัน/ชม. ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของแต่ละโรงงาน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกากมันสำปะหลังสดที่ได้จากหัวมันสำปะหลังพบว่ามีความใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 24.80-32.32 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 ข้อมูลการผลิตแป้งมันสำปะหลังต่อชั่วโมงการทำงานจริงของโรงงานจากแหล่งต่างๆ

	โรงงานที่				
	1	2	3	4	5
อัตราการป้อนหัวมันสำปะหลัง (ตัน/ชม.)	47.80	42.57	31.90	20.85	17.70
ปริมาณแป้งในหัวมัน (เปอร์เซ็นต์)	28.27	27.50	25.42	28.80	ไม่มีรายงาน
กำลังการผลิตแป้งมัน (ตัน/ชม.)	12.43	10.22	7.43	4.96	4.03
ปริมาณความชื้นในแป้ง (เปอร์เซ็นต์)	13.00	12.40	12.01	11.80	12.60
ปริมาณกากมันสำปะหลังสด (ตัน/ชม.)	12.86	10.56	8.33	6.74	4.95
ปริมาณกากมันที่ได้จากหัวมันสด (เปอร์เซ็นต์)	26.90	24.80	26.11	32.32	27.96

ที่มา: สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (2540)

1. ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังจัดว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งที่มีมากที่สุดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของโรงงาน และหาง่าย แต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีโปรตีนต่ำ จึงมักนำมาขายในราคาถูกเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต (ทรงศักดิ์, 2543) กากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งจะมีความชื้นสูงมาก (ร้อยละ 72 ของน้ำหนักเปียก) (หุทัย, 2547) และยังคงมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง (ร้อยละ 68.89 ของน้ำหนักแห้ง) (เสริมศักดิ์, 2546) ทำให้เน่าเสียได้ง่าย โดยองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะแตกต่างกันตามคุณภาพวัตถุดิบ ที่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว แหล่งเพาะปลูก การจัดการการเพาะปลูก และกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพการสกัดแป้ง เป็นต้น (หุทัย, 2547)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)

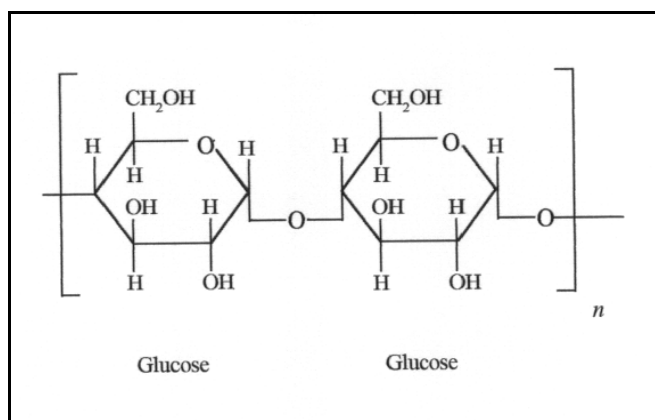
องค์ประกอบทางโภชนา (เปอร์เซ็นต์)	ที่มา				
	Grace (1977)	สุนีย์ (2539)	สุกัญญา (2546)	ผกาพรรณ และปรีชา (2545ก)	อุทัย และคณะ (2548)
วัตถุแห้ง	ไม่มีรายงาน	87.79	95.25	81.00	88.73
โปรตีน	5.30	3.39	1.59	2.01	1.83
เถ้า	2.70	2.65	3.84	2.61	3.64
เยื่อใย	35.90	15.26	12.02	14.22	10.08
ไขมัน	0.10	0.24	0.27	ไม่มีรายงาน	0.48
แคลเซียม	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	0.56	ไม่มีรายงาน	0.60
ฟอสฟอรัส	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	0.30	ไม่มีรายงาน	0.36
แป้ง	56.00	66.22	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน	ไม่มีรายงาน

2. โพลีแซคคาไรด์ในกากมันสำปะหลัง

ในกากมันสำปะหลังจะมีโพลีแซคคาไรด์จำพวกแป้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน รวมไปถึงลิกนิน ที่เป็นโพลิเมอร์ของสารอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ (हत्य, 2547) องค์ประกอบเหล่านี้จัดเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์พืช โดยโพลีแซคคาไรด์ที่พบในพืช แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ

2.1 โพลีแซคคาไรด์ที่เป็นอาหารสะสมในพืช ได้แก่ แป้ง ซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ โมเลกุลของแป้งมี 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน

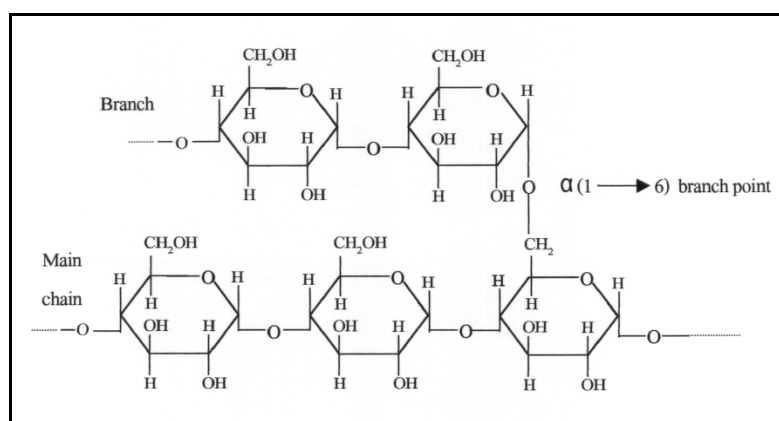
อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200 ถึง 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2543) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งไม่มีการแตกกิ่งก้านสาขา และมีลักษณะเป็นเส้นยาวๆ บิดกันเป็นเกลียว (helix) (อาภัสสร, 2543) โดยอะไมโลสที่มีขนาดใหญ่จะอยู่กลางของเม็ดแป้ง ส่วนอะไมโลสที่มีขนาดเล็กจะอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง (Oates, 1997) เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I) ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จะได้สีน้ำเงิน (บุญล้อม, 2546) อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันออกไป อะไมโลสในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2543) ซึ่งในแป้งมันสำปะหลังจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่ระหว่าง 8-29 เปอร์เซ็นต์ แต่โดยทั่วไปจะพบในช่วงระหว่าง 16-18 เปอร์เซ็นต์ (นิติ, 2543)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Voel and Voel (1995)

อะไมโลเพคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีกิ่งก้านสาขา (branched polysaccharide) ประกอบด้วยกลูโคสมาต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และมีการแตกสาขาทุกๆ 24-30 หน่วยกลูโคส ด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ดังแสดงในภาพที่ 4 (อาภัสสร, 2543) เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I) ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จะได้สีม่วง (บุญล้อม, 2546) ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน (Oates, 1997) (ตารางที่ 7)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Voel and Voel (1995)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
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	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: Beynum and Roels (1985)

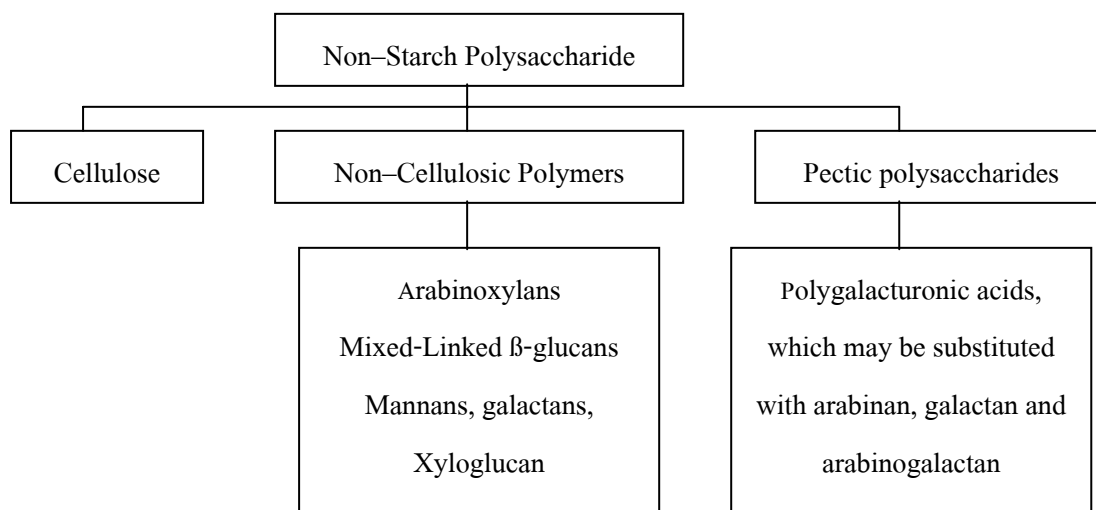
2.2 โพลีแซคคาไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (non-starch polysaccharide; NSP) เป็นส่วนของเส้นใยเซลลูโลส (cellulose) (ไม่ละลายน้ำ) non-cellulosic polymer และ pectic polysaccharide (ละลายน้ำ) ดังแสดงในภาพที่ 5 ประกอบกันเป็นผนังเซลล์ โดยผนังเซลล์แบ่งเป็น 2 ชั้น (มนตรี, 2541) คือ

ผนังเซลล์ชั้นแรก (primary cell wall) เป็นผนังเซลล์ชั้นนอกสุด ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส (cellulose microfibril) และมีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นร่วมด้วย เซลล์ที่ติดกันจะมีมิดเซลลามิตลา (middle lamella) กั้น (ระยะห่างประมาณ 0.1 ถึง 0.2 ไมครอน)

ผนังเซลล์ชั้นสอง (secondary cell wall) อยู่ชั้นในถัดจากผนังเซลล์ชั้นแรกเข้าไป โดยผนังเซลล์ชั้นสองจะประกอบด้วยผนังเซลล์หลายๆ ชั้นที่มีส่วนประกอบต่างกัน ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสที่แตกต่างกัน จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบด้วย ผนังเซลล์ชั้นนี้จะหนาประมาณ 1 ถึง 3 ไมครอน ทำให้เซลล์แข็งแรง ด้านทานแรงดึงและแรงอัดได้

NSP เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง มักเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดนอกเหนือจากกลูโคส ซึ่งจับกันด้วยพันธะไกลโคสิติก (glycosidic bonds) แบบพันธะ β -1, 3 และ β -1, 4 หลายหลายโมเลกุล ทำให้ได้เป็น NSP ที่มีขนาด สูตรโครงสร้าง และมีระดับของการละลายน้ำได้ที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปในพืชจะประกอบด้วย NSP ที่ละลายในน้ำ (soluble NSP) และไม่ละลายในน้ำ (insoluble NSP)

NSP นี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว ถ้ามีปริมาณสูงมากเท่าใดคุณภาพของอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดียวยังลดลงเท่านั้น เนื่องจากสัตว์ขนาดเล็กที่มีอายุที่น้อยจะย่อยสลายโครงสร้างดังกล่าว NSP จะถูกย่อยได้โดยน้ำย่อยจากจุลินทรีย์หรือโดยการเสริม น้ำย่อยสังเคราะห์ในกลุ่ม NSP-degrading enzymes ในอาหารสัตว์ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544) โดยจุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อย NSP เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) และดูดซึมนำไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในการย่อยโดยจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น



ภาพที่ 5 ชนิดของ NSP

ที่มา: Choct and Kocker (2002)

เซลลูโลสพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุด ในธรรมชาติ ทั้งนี้เซลลูโลสจะพบเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสประมาณ 300 ถึง 2,500 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-1, 4 (ภาพที่ 6) ทำให้กลูโคสที่ต่อกันอยู่ในสายโซ่ของเซลลูโลสยืดตัวออกในแนวเส้นตรงได้ สายของเซลลูโลสหลายสายจึงจัดเรียงตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมาก โดยที่โมเลกุลของน้ำไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ได้เลย เซลลูโลสจึงไม่ละลายทั้งในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดีในกรดหรือด่างแก่ ซึ่งโครงสร้างของเซลลูโลสในลักษณะนี้จะมีคามเหนียว แข็งแรง ประกอบกันเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์สามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่าง ได้เป็น 3 ชนิด (Beguin and Aubert, 1994) คือ

- แอลฟา-เซลลูโลส (α-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์

- เบตา-เซลลูโลส (β-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์

- แกรมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นเฮเทอโรโพลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่ประกอบด้วยโซ่หลักและโซ่ข้าง ในสายโซ่หลักประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะ β -1, 4 (ภาพที่ 6) ส่วนสายโซ่ข้างอาจเป็นสายโซ่ของกลูแคน แมนแนน หรือกาแลกโตส โดยเฮมิเซลลูโลสจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 ถึง 50 หน่วย เฮมิเซลลูโลสจะละลายในสารละลายด่างและจะละลายได้ดีมากขึ้นเมื่อมีโซ่กิ่งมากๆ (มนตรี, 2541)

สารกลุ่มเพคติน (pectin) เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ที่พบในช่องว่างระหว่างเซลล์พืชและผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวเซลล์พืชเข้าด้วยกัน องค์ประกอบพื้นฐานของสารกลุ่มเพคตินคือ กรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) ที่เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกาแลกโตส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 (ภาพที่ 6) สารกลุ่มเพคตินมีหลายชนิด ได้แก่

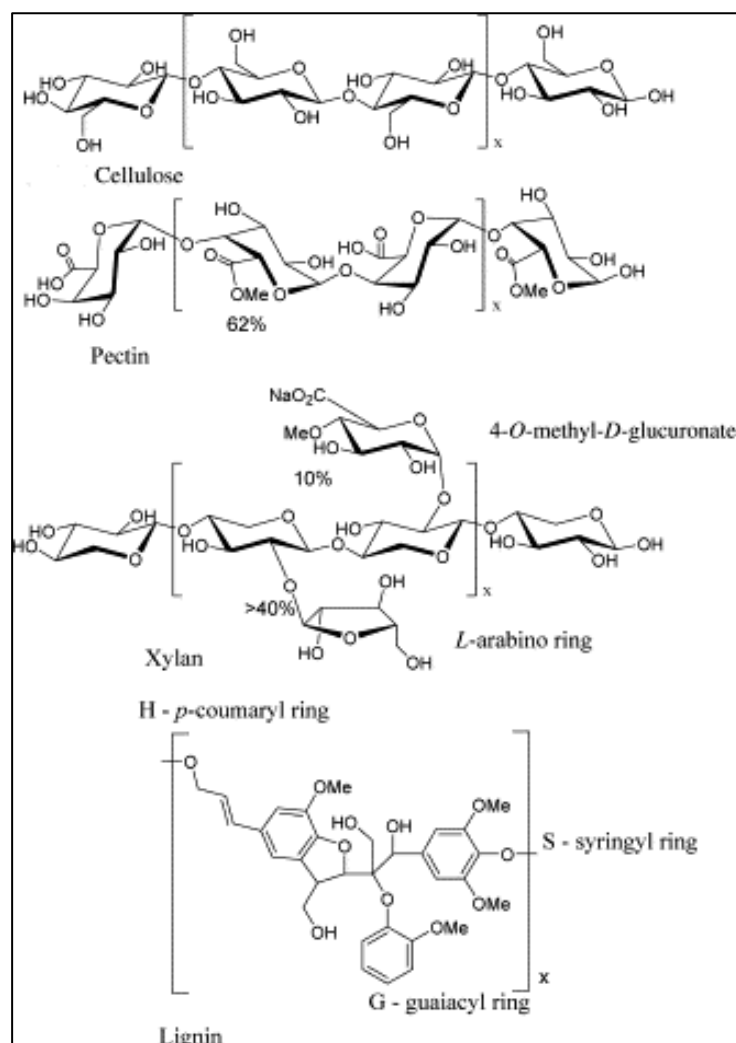
- โพรเพคติน (propectin) มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่สุด และพบมากในผลไม้ที่ยังไม่สุก

- กรดเพคตินิกหรือเพคติน (pectinic acid หรือ pectin) คือโพรเพคตินที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในเนื้อผลไม้ จึงมีโครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่าและเป็นลักษณะของเนื้อผลไม้สุก

- กรดเพคติก (pectic acid) เป็นอนุพันธ์ของกรดเพคตินิกเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเมทานอลและหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิก (Alais and Linden, 1991)

องค์ประกอบที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของผนังเซลล์ คือ ลิกนิน ซึ่งพบปริมาณมากในผนังเซลล์ โดยมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เซลลูโลสถูกย่อยสลาย ลิกนินเป็นสารพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เมทอกซิล หมู่ไฮดรอกซิล และหน่วยฟีนิลโพรเพน อาจเชื่อมกันที่ตำแหน่ง α หรือ β กับโซ่ข้างของหน่วยอื่นหรือที่ตำแหน่งอื่น หรือที่ตำแหน่ง 4 และ 5 ของวงแหวนฟีนิลได้ เป็นรูปร่างเส้นตรง วงกลม หรือมีกิ่งก้านสาขาก็ได้ โดยปกติไม่สามารถสรุปได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถระบุโครงสร้างที่แน่นอนได้ ลิกนินมักจะประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ หลายกลุ่ม (เกศสุชา, 2536) ลิกนินจะพบในผนังเซลล์ชั้นแรก ผนังเซลล์ชั้นสอง ผนังเซลล์

ชั้นสาม และมิดเซลลูลาเมลลา โดยที่ลิกนินจะสร้างจากผนังเซลล์ชั้นแรกและมิดเซลลูลาเมลลา แล้วถูกส่งไปเก็บที่ส่วนอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับส่วนนั้น



ภาพที่ 6 โครงสร้างของเซลลูโลส เพคติน เฮมิเซลลูโลส (ไซแลน) และลิกนิน
ที่มา: Herring *et al.* (2004)

3. การใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการนำเอามันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ทั้งหัวมันสด มันเส้น มันป่น และมันอัดเม็ด แต่การนำกากมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ นั้นนับว่ายังไม่แพร่หลายมากนัก

3.1 สุกร

สุกัญญา (2546) ศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสุกรระยะรุ่นและขุน โดยแบ่งสุกรในระยะรุ่นให้ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับกากมันสำปะหลังแตกต่างกัน 4 กลุ่ม (0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่าสุกรระยะรุ่นในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ของสิ่งแห้งและโปรตีนสูงกว่า ($P < 0.01$) และการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใยต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของพลังงาน การเก็บกักโปรตีน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในอาหารทั้ง 4 สูตร ($P > 0.05$) สำหรับสุกรในระยะขุน กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีการย่อยได้ของไขมันและเยื่อใยต่ำกว่า ($P < 0.01$) และการย่อยได้ของพลังงานสูงกว่า ($P < 0.05$) กลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการย่อยได้ของสิ่งแห้งและโปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรรุ่นถึงขุน อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร เปอร์เซ็นต์ซากอ่อน ความหนาไขมันสันหลัง ความยาวซาก และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงสามารถใช้กากมันสำปะหลังได้สูงถึงระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร

อุทัย และคณะ (2548) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกร อุ้มท้องและเลี้ยงลูก โดยแม่สุกรแต่ละกลุ่มกินอาหารแม่สุกรอุ้มท้องต่างกัน 4 สูตร ดังนี้คือ สูตรที่ 1 เป็นอาหารที่ใช้ปลายข้าว รำละเอียด และกากถั่วเหลือง เป็นหลัก (สูตรควบคุม) สูตรที่ 2-4 เป็นอาหารสูตรควบคุมที่ใช้กากมันสำปะหลังทดแทนรำละเอียดในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ แม่สุกรทุกกลุ่มได้รับอาหารสูตรเดียวกันในระยะเลี้ยงลูก ผลการทดลองพบว่าแม่สุกรที่กินอาหารทดลองทุกสูตรมีสมรรถภาพการสืบพันธุ์ทั้งในระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูกแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นกากมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารแม่สุกรอุ้มท้องได้และสามารถใช้ทดแทนรำละเอียดได้เต็มที่ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของแม่สุกรแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ใช้กากมันสำปะหลังแต่ประการใด

3.2 เป็ดเทศ

เทอดศักดิ์ และคณะ (2550) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของเป็ดเทศท่าพระ 2 โดยแบ่งเป็ดเทศให้ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับกากมันสำปะหลังแตกต่างกัน 4 กลุ่ม (0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่าเป็ดระยะเล็ก รุน และขุนในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และตลอดอายุการทดลองของเป็ดเทศในกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารดีกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

3.3 โคเนื้อและกระบือ

ผกาพรรณ และปรีชา (2545ก) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังหมักเสริมด้วยอาหารโปรตีนเลี้ยงโคและกระบือ โดยใช้อาหารทดลอง 4 สูตรคือ สูตรที่ 1 อาหารผสมสำเร็จ (TMR) ให้กินเต็มที่และหญ้า 5 กิโลกรัม/ตัว/วัน สูตรที่ 2 หญ้าขนตัดสดและกากมันสำปะหลังหมัก (อาหารหลัก) ให้กินเต็มที่และกากเนื้อในปาล์ม 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน สูตรที่ 3 อาหารหลักให้กินเต็มที่และเมล็ดทานตะวัน 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน สูตรที่ 4 อาหารหลักให้กินเต็มที่และใบกระถิน 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน โดยทำการทดลองในโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของโคที่ได้รับอาหารทั้ง 4 สูตรนี้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดลองในโคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มันจะพบว่า โคกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 จะมีน้ำหนักตัวต่อวันเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2, 4 และ 3 (674, 357, 332 และ 277 กรัม/วัน ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อนำอาหารสูตรที่ 2, 3, และ 4 มาเลี้ยงกระบือจะพบว่า กระบือกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 จะมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอาหารสูตร 2 และ 3 (622, 497 และ 354 กรัม ตามลำดับ) จากการทดลองนี้สรุปว่า กากมันสำปะหลังหมักที่เสริมด้วยใบกระถินสามารถใช้ทดแทนอาหารผสมสำเร็จในการเลี้ยงโคพันธุ์กำแพงแสน โคเนื้อลูกผสมพันธุ์บราห์มัน และกระบือได้ โดยไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของสัตว์ด้อยลง

ผกาพรรณ และปรีชา (2545ข) ศึกษาผลของการเสริมกากมันสำปะหลังหมักและกากปาล์มเลี้ยงกระบือ โดยได้ทำการทดลองเลี้ยงกระบือปลักแบบปล่อยให้แทะเล็มในแปลงหญ้าธรรมชาติที่สภาพแปลงหญ้าไม่สมบูรณ์และเสริมด้วยอาหาร 2 สูตรคือ กากมันสำปะหลังหมักให้

กินเต็มที่และกากมันสำปะหลังหมักให้กินเต็มที่ร่วมกับกากเนื้อในปาล์ม 0.2 กิโลกรัม/ตัว/วัน ผลการทดลองพบว่า กระบือกลุ่มที่เสริมอาหารกากเนื้อในปาล์มร่วมกับกากมันสำปะหลังหมักจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อวันแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกระบือกลุ่มที่เสริมกากมันสำปะหลังหมักอย่างเดียว

สมิต และคณะ (2546) ศึกษาผลของการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคเนื้อ โดยได้ทำการทดลองเลี้ยงโคเนื้อเพศผู้ตอนลูกผสมพันธุ์พื้นเมือง-บราห์มัน ให้ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับกากแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน 4 กลุ่ม (0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่าการใช้กากมันสำปะหลังเป็นอาหารโคเนื้อทั้ง 4 กลุ่ม มีผลต่อน้ำหนักตัวสุดท้าย ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะเดียวกันโคกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าโคกลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลังระดับ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จึงเห็นได้ว่าสามารถนำกากมันสำปะหลังมาใช้ในสูตรอาหารได้เต็มที่ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของโคแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ใช้กากมันสำปะหลัง แต่หากต้องการให้โคมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นควรใช้ในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร

เอนไซม์ที่ใช้สำหรับอาหารสัตว์

การนำเอนไซม์มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ จัดเป็นกลุ่มของสารอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโต ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจและนิยมกันมาก (Gerand *et al.*, 1993) เนื่องจากอาหารสัตว์ในปัจจุบันมีส่วนแบ่งทางการตลาดค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าปรับปรุงอาหารสัตว์คุณภาพต่ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประกอบกับกฎหมายมีบทบาทสำคัญที่กำหนดไม่ให้มีการใช้ยาหรือสารเคมีอื่นๆ ที่เร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้เอนไซม์ที่สกัดได้จากแหล่งต่างๆ มากขึ้น เช่น เอนไซม์จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์

เอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญคือ เอนไซม์ที่สกัดได้จากจุลินทรีย์ เช่น นำไปใช้เพื่อลดความหนืดของอาหาร ย่อยแป้งและไขมัน ทำให้สัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้ดีขึ้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ตัวอย่างของเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อราที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น เอนไซม์ β -glucanase และ β -xylanase ช่วยลดความหนืดของอาหารสัตว์ที่มีรำข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรย์ เป็นส่วนประกอบ เอนไซม์ protease ช่วยย่อยโปรตีน เอนไซม์ lipase ช่วยย่อยไขมัน และเอนไซม์ amylase ช่วยย่อยแป้ง เป็นต้น (Chesson, 1993)

NSP แต่ละชนิดจะมีสูตร โครงสร้างและการละลายได้ที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีการย่อยได้ต่างกันด้วย โดยทั่วไป NSP ที่ละลายได้ในน้ำจะมีการย่อยได้มากกว่าพวกที่ไม่ละลายในน้ำ ส่วนที่ละลายได้มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ พองตัวเป็นวุ้น ทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหารของสัตว์ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากตัวสัตว์ จึงทำให้การย่อยได้ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่เล็ก ด้วยเหตุนี้จึงมีการผลิตเอนไซม์เป็นการค้า เรียกรวมๆ ว่า NSP-degrading enzymes เพื่อช่วยย่อย NSP ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่ง NSP-degrading enzymes นี้มีทั้งนี้เฉพาะเจาะจงเป็นรายชนิด เช่น xylanase, glucanase, mannanase และ galactosidase ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยโพลีแซคคาไรด์เฉพาะชนิดนั้นๆ หรือเป็นแบบรวมหลายชนิด (cocktail) ก็ได้ (บุญล้อม, 2546)

สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่ว่าจะเป็นสุกรหรือสัตว์ปีกจะมีขีดจำกัดในการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาที่เป็นผลพลอยได้จากพืชอยู่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น NSP คาร์โบไฮเดรตกลุ่มนี้จัดเป็นสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนา และทำให้การย่อยได้ของสัตว์ลดลง การเสริมเอนไซม์ในกลุ่ม NSP-degrading enzymes จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่หวังผลเพื่อให้สัตว์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากโภชนาต่างๆ ได้ดีขึ้น (Ronald, 2004)

ในทางเดินอาหารของสัตว์จะมีเอนไซม์ช่วยย่อยอาหารที่ผลิตและหลังเข้าสู่กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก ตลอดจนเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ช่วยในการย่อยอาหารให้เป็นหน่วย โภชนะที่สัตว์ดูดซึมได้ เอนไซม์เหล่านี้จะทำงานได้ดีเมื่อมี pH และ substrate เหมาะสมสำหรับ เอนไซม์แต่ละชนิด การผลิตเอนไซม์ในสัตว์แต่ละชนิดมีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ สัตว์ไม่เคี้ยว เอื้องไม่สามารถผลิตเอนไซม์ย่อย NSP ในผนังเซลล์พืชได้ หรือลูกสุกรดูดนมผลิตเอนไซม์ carbohydrases, lipases และ proteases มาช่วยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนในพืชได้ไม่เพียงพอ จนกว่าอายุจะมากขึ้น เป็นต้น ทำให้สัตว์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการใช้อาหารต่ำ อาจต้องเสีย โตช้าและสูญเสียโภชนะออกมากับสิ่งขับถ่ายในอัตราที่สูง สร้างมลพิษขึ้นในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการ เติมเอนไซม์จากภายนอกลงในอาหารสัตว์ในบางสถานการณ์จึงบังเกิดผลดี (สาริธ, 2547) เอนไซม์ที่ เกี่ยวกับการย่อยโครงสร้างของผนังเซลล์พืชส่วน NSP

1. เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) โดยทั่วไปเป็นเอนไซม์ผสม ประกอบด้วยเอนไซม์หลาย ชนิดทำงานร่วมกัน (ปราณี, 2535) คือ

1.1. เอนไซม์ C_1 หรือ hydrogen bondase ทำหน้าที่ให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนตัวลง เพื่อ กระตุ้นหรือแตกสลายเซลลูโลสให้มีสภาพที่เหมาะสม สำหรับเป็น substrate ของเซลลูเลส

1.2 เอนไซม์ C_x หรือ β -1,4-glucanase ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะในเซลลูโลส หรือ อนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ละลายน้ำได้ คือ ย่อยสลายพันธะ β -1,4-glycosidic linkage แต่ไม่สามารถ ย่อยสลาย substrate ที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ แบ่งเอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็น 2 ชนิด คือ

- Endo- β -1,4-glucanase หรือ glucanohydrolase ทำหน้าที่ย่อยสายเซลลูโลส ทั้งในรูป ที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ โดยการตัดพันธะที่ตำแหน่ง β -1,4-glycosidic แบบสุ่มภายในสาย เซลลูโลสหรืออนุพันธ์ของเซลลูโลส ทำให้ได้กลูโคสและโอลิโกเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก

- Exo- β -1,4-glucanase หรือ cellobiohydrolase ทำงานร่วมกับเอนไซม์ endo- β -1, 4-glucanase ย่อยสลายสายโพลิเมอร์จากปลายสายด้านที่ไม่มีหมู่อิควิซที่ละ โมเลกุลอย่างมีระเบียบและ มีการเปลี่ยนแปลงโครงรูปของผลผลิต คือ β -configuration เป็น α -configuration ได้ผลผลิตเป็น เซลโลไบโอสและกลูโคส

1.3 เอนไซม์ β -glucosidase หรือ cellobiase หน้าที่ย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก endo- β -1,4-glucanase และ exo- β -1,4-glucanase โดยการย่อยโมเลกุลของเซลโลไบโอสและเซลโลเฮกโซส ได้เป็นกลูโคส (Wood and Bhat, 1988)

2 เอนไซม์ไซแลนเนส (xylanase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถช่วยย่อยเฮมิเซลลูโลสได้ โดยสามารถย่อยสายโพลีแซคคาไรด์ที่พบในส่วน of endosperm และผนังเซลล์ของข้าวสาลีและข้าวไรย์ คือ arabinoxylan โดยประกอบไปด้วยส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ร่วมกัน อย่างไรก็ตามทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถที่จะดูดซับน้ำไว้ได้ถึง 10 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งคุณสมบัตินี้ก่อให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกันกับ β -glucan แต่การนำเอนไซม์ xylanase มาใช้สามารถแก้ปัญหานี้ได้ (Annison and Choct, 1991)

3 เอนไซม์ย่อยเพคตินหรือเอนไซม์เพคติก (pectic enzyme) เป็นเอนไซม์ที่สามารถตัดย่อยสารประกอบเพคติน กรดเพคติก หรือสารประกอบ oligo-D-galacturonate ได้ พบทั้งในพืชชั้นสูงและจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา แต่เนื่องจากสารประกอบเพคตินเป็นส่วนประกอบของพืชเกือบทุกชนิดทั่วโลกและคุณสมบัติของสารประกอบเพคตินเหล่านี้แตกต่างกัน ซึ่งมีผลให้ชนิดและกลไกการทำงานของเอนไซม์ตัดย่อยเพคตินนั้นแตกต่างกัน (พรหมทิพย์, 2539) บางชนิดเกิดปฏิกิริยา trans-elimination ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพันธะคู่ และบางชนิดเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีหมู่รีดิวซ์ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งแบบสุ่มและแบบตัดพันธะจากด้านปลาย โดยปฏิกิริยาการย่อยแบบสุ่มจัดเป็นกลุ่ม endo-enzyme ส่วนปฏิกิริยาการย่อยจากด้านปลายจัดเป็นกลุ่ม exo-enzyme (เลอถักชัย, 2544) Pilinik and Voragen (1991) ได้จำแนกเอนไซม์ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

3.1 เอนไซม์ที่ตัดย่อยหมู่เมทิลของสารประกอบเพคติน ทำให้ได้ low methoxyl pectin หรือกรดเพคติก เอนไซม์กลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ pectinesterase (RE) พบเอนไซม์ชนิดนี้ในพืชชั้นสูง เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย

3.2 เอนไซม์ที่ตัดย่อยพันธะ glycosidic linkage ระหว่าง galacturonosyl residues เรียกเอนไซม์กลุ่มนี้ว่า เอนไซม์ pectin depolymerase

โครงสร้างลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

1. ผนังท่อทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

เกล็ดแก้ว (2543) และ Mackenna and Callander (1997) กล่าวว่าผนังท่อทางเดินอาหารประกอบด้วยชั้นต่างๆ (ภาพที่ 7) ได้แก่

1. Mucosa เป็นเยื่อชั้นในสุดของท่อทางเดินอาหารติดกับ lumen ในชั้น mucosa นี้จะมีท่อน้ำเหลืองมาเลี้ยงมากมายที่กึ่งกลางวิลลัสและจะเป็น lacteal duct เพื่อนำไขมันที่ดูดซึมผ่าน blood circulation โดยชั้นของ mucosa แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ

1.1 Mucosa membrane เป็นชั้นในสุดติดกับช่องภายในท่อ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเยื่อบุผิว (epithelium) ซึ่งมีหน้าที่หลัก 3 ส่วนคือ การป้องกัน (protection) การหลั่ง (secretion) และการดูดซึม (absorption) เนื้อเยื่อเยื่อบุผิวมีลักษณะต่างกันขึ้นกับหน้าที่ เช่น ถ้าทำหน้าที่ป้องกันการเสียดสี ลักษณะของเนื้อเยื่อเยื่อบุผิวจะมีการเรียงตัวหลายชั้นเรียกว่า stratified squamous epithelium ถ้าทำหน้าที่เกี่ยวกับการหลั่งหรือดูดซึม ลักษณะของเนื้อเยื่อเยื่อบุผิวจะเป็นชนิด columnar epithelium

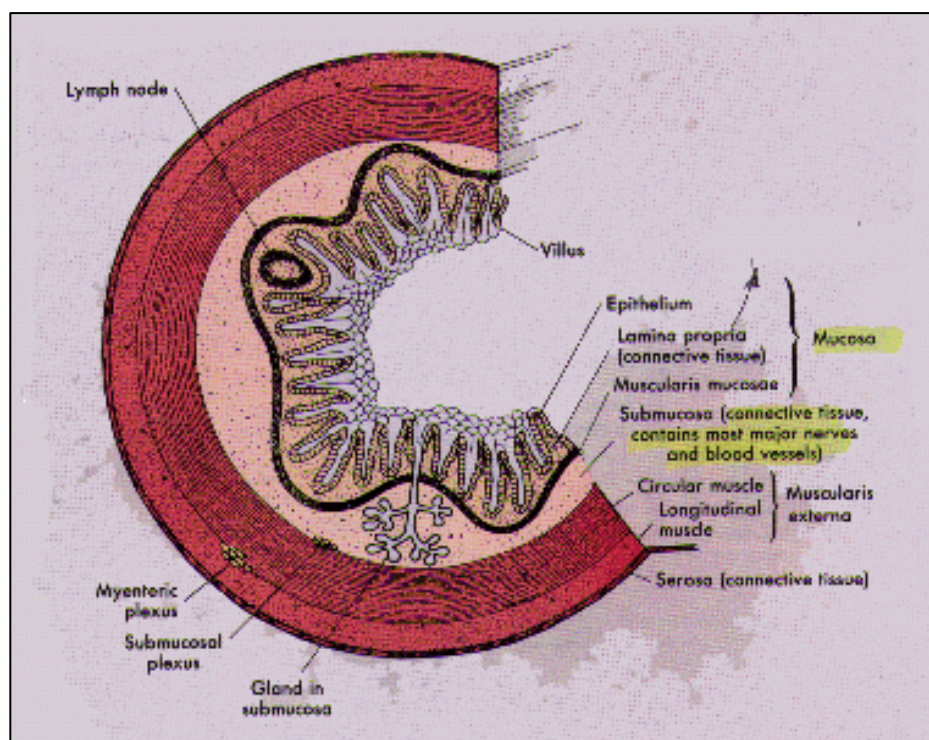
1.2 Lamina propria ประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสานชนิดหลวม (loose connective tissue) ทำหน้าที่นำอาหารจากหลอดเลือดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อเยื่อบุผิวและมีเนื้อเยื่อที่ผลิตลิมโฟไซต์ (lymphoid tissue) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งในระหว่างชั้น lamina propria กับ submucosa จะมีแผ่นกล้ามเนื้อเรียบบางๆ อยู่ชื่อ muscularis mucosae ซึ่งช่วยในการเคลื่อนไหวของวิลลัส

2. Submucosa เป็นชั้นที่อยู่ใต้ mucosa ประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสานชนิดหลวม หลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้นประสาท กลุ่มของเส้นประสาทในชั้นนี้เรียกว่า submural หรือ Meissner's plexus ซึ่งประกอบด้วยเส้นประสาทซิมพาเทติก (sympathetic) และพาราซิมพาเทติก (parasympathetic)

3. Muscularis externa เป็นชั้นถัดจาก submucosa ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ ซึ่งโดยทั่วไปเรียงตัว 2 ชั้นได้แก่ ชั้นในเรียงตัวเป็นวงและชั้นนอกเรียงตามความยาวขนานกับความยาวท่อระหว่างกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชั้นมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลือง และเส้นประสาท กลุ่มของเส้นประสาทบริเวณนี้เรียกว่า myenteric หรือ Auerbach's plexus ซึ่งประกอบด้วยเส้นประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก

การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อชั้นนี้มีลักษณะเป็นคลื่นที่เรียกว่า peristalsis ทำให้อาหารเคลื่อนตัวต่อไปที่ส่วนอื่น

4. Serosa เป็นชั้นนอกของท่อนำทางเดินอาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาท ชั้นนี้ถูกหุ้มด้วยเยื่อช่องท้อง (peritoneum)



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของระบบทางเดินอาหาร
ที่มา: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ (2552)

2. ลักษณะลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

ลำไส้เล็กเป็นส่วนท่อกว้าง (hollow organ) ที่มีความสำคัญในการย่อยทางเคมีด้วยเอนไซม์หลายชนิดและในการดูดซึมสารอาหารในสภาพที่เหมาะสมผ่านผนังเข้าสู่กระแสโลหิตหรือน้ำเหลือง (blood or lymphatic circulation) โดยลำไส้เล็กประกอบไปด้วย 3 ส่วน (สุนทรานี, 2538) ได้แก่

1. ดูโอดินัม (duodenum) เป็นลำไส้เล็กส่วนต้นที่ต่อจากกระเพาะอาหาร พบว่าในชั้น submucosa มี brunner gland เซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็น mucous-type และทำหน้าที่หลั่ง alkaline เพื่อปรับสมดุลของ acidic chyme และป้องกันเซลล์เนื้อเยื่อบุผิว (Kerr, 1999)

2. เจจูนัม (jejunum) เป็นลำไส้เล็กส่วนกลาง จะพบลักษณะวิลลัสสูง (tallest villus) ซึ่งจะแผ่ขยายจากผิวของเซอร์คิวลาร์ โฟลด์ ของ mucosa และ submucosa (Kerr, 1999)

3. อีเลียม (ileum) เป็นลำไส้เล็กส่วนปลาย จะเป็นที่รวมของกลุ่มเซลล์ที่ผลิตลิมโฟไซต์ (lymphoid follicles) เรียกว่า Payer's patches จะอยู่ในชั้น submucosa และรวมถึง muscularis externa แผ่ขยายจนไปถึง lamina propria ซึ่งกลุ่มเซลล์จำพวกนี้จะกินสิ่งแปลกปลอมรวมถึงแอนติเจน (Kerr, 1999)

ผนังลำไส้มีลักษณะภายในทั่วไปคล้ายโครงสร้างพื้นฐานของท่อทางเดินอาหาร แต่มีลักษณะแตกต่างกันคือชั้น mucosa มีการเพิ่มพื้นที่ผิวเนื่องจากการดูดซึมมาก โดยชั้นในของผนังลำไส้ยกตัวสูงขึ้นเป็น เซอร์คิวลาร์ โฟลด์ (circular fold) วิลลัส (villus) และไมโครวิลลัส (microvillus) (เกล็ดแก้ว, 2543)

- เซอร์คิวลาร์ โฟลด์ คือ การยื่นออกของชั้น mucosa และ submucosa มีลักษณะเป็นสันนูน ซึ่งพบมากที่ลำไส้เล็กส่วนต้นและส่วนกลาง แต่พบน้อยที่ลำไส้เล็กส่วนปลาย

- วิลลัส คือ การยื่นออกของชั้นเนื้อเยื่อบุผิว และ lamina propria ของชั้น mucosa พบในลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วนและมีหลอดน้ำเหลืองฝอยเรียกว่า lacteal แทรกอยู่ภายในวิลลัส

- ไมโครวิลลัส คือ การยื่นออกของเซลล์เมมเบรนของเซลล์ในชั้นเนื้อเยื่อบุผิว พบในลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน

เยื่อเมือกบุผนังของลำไส้เล็กตลอดความยาวมีโครงสร้างพิเศษเรียกว่า วิลลัส ประมาณ 5 ล้านอัน ยื่นลงไปในช่วงลำไส้ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมได้ประมาณ 10 เท่า และยังมีไมโครวิลลัสอยู่ด้านนอกสามารถช่วยการดูดซึมประมาณ 20 เท่า และผนังลำไส้เล็กที่มีลักษณะเป็นรอยพับมากมายช่วยในการดูดซึมประมาณ 3 เท่า ถ้ารวมความสามารถในการดูดซึมของลำไส้เล็กจะประมาณ 600 เท่า วิลลัสมีผนังบางและภายในมีเส้นเลือดฝอยและเส้นน้ำเหลืองอยู่เต็มบนผนังลำไส้

ในชั้นของ submucosa จะเห็นมีบริเวณค่อนข้างกลม พื้นขรุขระ บริเวณเหล่านี้เรียกว่า Payer's patch เป็นต่อมน้ำเหลืองที่ทำหน้าที่ทำลายแบคทีเรียและดูดซึมอาหารที่เป็นไขมัน (พริ้มเพรา, 2522) ส่วนลักษณะสำคัญในชั้น mucosa คือมีการยุบตัวของเนื้อเยื่อผิวหนังชนิด simple columnar epithelium เกิดเป็นต่อมเรียกว่า intestinal glands หรือ crypt of lieberkuhn ต่อมนี้นี้ประกอบด้วยเซลล์ที่สำคัญคือ columnar absorptive cells ทำหน้าที่เกี่ยวกับการดูดซึมอาหาร (เกล็ดแก้ว, 2543)

3. กลไกการทำงานของวิลลัส

การดูดซึมสารอาหารส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งลำไส้เล็กตอนต้นและกลาง และมีบางส่วนเกิดขึ้นในลำไส้เล็กส่วนปลายและลำไส้ใหญ่ เนื่องจากระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของอาหารตลอดทางเดินอาหารค่อนข้างจำกัด ร่างกายจึงมีการปรับตัวโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมให้มากขึ้น ในส่วนของวิลลัส และไมโครวิลลัส (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544) ซึ่งพริ้มเพรา (2522) กล่าวว่า ลำไส้เล็กเป็นอวัยวะที่ดูดซึมได้ดีที่สุด โดยมีวิลลัสเป็นจำนวนมากซึ่งอาหารที่ย่อยจะซึมผ่านเข้าไปในโลหิตได้ 2 ทางคือ

3.1 Lacteal ของวิลลัส คือ เข้าทางหลอดน้ำเหลืองแล้วนำไปสู่ thoracic duct และ left subclavian vein, left innominate vein, superior venacava แล้วนำไปสู่หัวใจห้องบนข้างขวา (right atrium) อาหารที่ซึมเข้าสู่ lacteal ได้แก่ กลีเซอรอลและกรดไขมัน (ปิยา, 2525)

3.2 Capillaries ของวิลลัส คือ เข้าทางเส้นโลหิตฝอยโดยตรงแล้วเข้าสู่ portal vein และผ่านไปตับ อาหารที่ซึมเข้าสู่เส้นเลือดฝอยของวิลลัส ได้แก่ กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล และกรดไขมันบ้างเล็กน้อย

วิลลัสในลำไส้มีได้มีเพียงแต่ทำให้เนื้อที่ของลำไส้เล็กขยายกว้างมากขึ้นเท่านั้น แต่วิลลัสยังสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างรุนแรงและการเคลื่อนไหวนี้ก่อให้เกิดความดันซึ่งจะช่วยในการดูดซึมอาหาร กลไกเช่นนี้เรียกว่า villous pump นอกจากนี้วิลลัสยังทำหน้าที่ปิดให้อาหารเคลื่อนต่อไปยังชั้น mucosa ของลำไส้เล็กที่ถูดออกไป โดยกระบวนการเช่นนี้จะทำให้ผิวของชั้น mucosa ของลำไส้เล็กที่อยู่ถัดต่อไป ซึ่งยังไม่ได้สัมผัสกับอาหารเลยจะยังคงมีอาหารให้ดูดซึมด้วยความสะดวก เมื่ออาหารผ่านมาสัมผัสกับวิลลัส วิลลัสจะปล่อยฮอร์โมนที่เรียกว่า villikinin ออกมาซึ่ง villikinin จะทำให้วิลลัสเคลื่อนไหวมากขึ้น (ประวิทย์, 2526)

4. ผลของการเสริม NSP-degrading enzymes ต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อและไก่ไข่

4.1 สมรรถภาพการผลิต

Wang *et al.* (2005) ศึกษาผลของระดับการเสริมเอนไซม์ (xylanase และ β -glucanase) ในสูตรอาหารที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ โดยให้ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองที่มีระดับของเอนไซม์แตกต่างกัน 6 กลุ่ม (0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ผลการทดลองพบว่า ไก่เนื้อในช่วงอายุ 7-21 วัน จะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น ($P<0.01$) และตลอดอายุการทดลอง 42 วัน พบว่าไก่เนื้อจะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ($P<0.01$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น ($P<0.05$) เมื่อมีการเสริมเอนไซม์ในระดับที่สูงขึ้น นอกจากนี้ส่งผลทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนสูงขึ้น ($P<0.05$) แต่ในขณะเดียวกันไม่มีผลต่อพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อ และจากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จัดเป็นระดับต่ำสุดที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและสมรรถภาพการผลิตที่ดี และ Choct *et al.* (1999) กล่าวว่า การเสริมเอนไซม์ xylanase ในสูตรอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบหลักจะช่วยในการปรับปรุงน้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวให้ดีขึ้น ซึ่งในข้าวสาลีจะมี NSP ประเภท arabinoxylans เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงเลือกที่จะใช้เอนไซม์ xylanase แต่ Yaghobfar *et al.* (2007) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ (xylanase และ β -glucanase) ในสูตรอาหารที่มีเปลือกข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ ส่งผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในช่วงอายุ 0-21 และ 22-45 วัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และไม่ส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของแป้ง โปรตีน และอินทรีย์สาร รวมทั้งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อ

Yu *et al.* (1998) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ β -glucanase ในสูตรอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์ทดแทนข้าวโพด 500 กรัม/กิโลกรัม พบว่า ตลอดช่วงอายุการทดลองของไก่เนื้อ (0-6 สัปดาห์) จะไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น แต่การเสริมเอนไซม์ β -glucanase ในสูตรอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์ทดแทนข้าวโพดมากกว่า 250 กรัม/กิโลกรัม ไม่เพียงแต่จะช่วยให้การเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อในช่วงระยะเจริญเติบโต แต่ยังทำให้น้ำหนักมีชีวิตของไก่เนื้อก่อนส่งตลาดสูงขึ้น โดยในข้าวบาร์เลย์จะมี NSP ประเภท β -glucan เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงเลือกใช้เอนไซม์ β -glucanase เพื่อช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิต

Saleh *et al.* (2005) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ทางการค้าที่เป็นแบบชนิดรวม (ประกอบด้วย cellulase, hemicellulase และ pectinase) ลงในสูตรอาหารพื้นฐานที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ พบว่า ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มในการปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ถั่ว และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การเสริมเอนไซม์แบบชนิดเดี่ยว (cellulase) เช่นเดียวกับ Marsman *et al.* (1997) ที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเสริมเอนไซม์ (protease และ carbohydrase) ลงในสูตรอาหารกากถั่วเหลืองจะไม่มีผลต่อการย่อยได้ของแป้งและไขมัน แต่จะทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนสูงขึ้น

Meng and Slominski (2005) ศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์แบบชนิดรวม (ประกอบด้วย เอนไซม์ไซเลนเนส, กลูแคนเนส, เพคตินเนส, เซลลูเลส, แมนแนนเนส และกาแลกเทส) ลงในอาหารที่แตกต่างกัน 4 ชนิด (อาหารสูตรข้าวโพด, ข้าวโพด-กากถั่วเหลือง, ข้าวโพด-กากคาโนล่า และข้าวโพด-ถั่วลิสง) พบว่า การเสริมเอนไซม์ในอาหารสูตรข้าวโพดจะทำให้ไก่เนื้อมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น ($P < 0.05$) และไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารสูตรข้าวโพด-กากถั่วเหลือง, ข้าวโพด-กากคาโนล่า และข้าวโพด-ถั่วลิสง นอกจากนี้การเสริมเอนไซม์ในอาหารสูตรข้าวโพดยังทำให้ค่าการย่อยได้ของ NSP และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น ($P < 0.05$) และการเสริมเอนไซม์ในอาหารสูตรข้าวโพด-กากถั่วเหลืองจะทำให้ค่าการย่อยได้ของ NSP โปรตีน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามไก่เนื้อที่ได้รับอาหารสูตรข้าวโพด-กากคาโนล่า และข้าวโพด-ถั่วลิสง จะไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ($P > 0.05$) แต่เมื่อมีการเสริมเอนไซม์ลงในสูตรอาหารดังกล่าวจะทำให้ค่าการย่อยได้ของ NSP สูงขึ้น ($P < 0.05$) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโภชนะต่างๆ ที่ถูกห่อหุ้มไว้ในผนังเซลล์ของพืชในกากถั่วเหลือง กากคาโนล่า และถั่วลิสง จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ตอบสนองต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นประสิทธิภาพในการใช้อาหารและการใช้ประโยชน์ได้ของแป้งในอาหารสูตรข้าวโพดจะให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับการเสริมเอนไซม์ลงในอาหารที่มีผนังเซลล์พืชเป็นองค์ประกอบ แต่ Kocher *et al.* (2000) แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ทางการค้าชนิดต่างๆ ลงในอาหารที่มีกากคาโนล่าและกากเมล็ดทานตะวัน ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อ

4.2 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อและไก่ไข่

Yaghobfar *et al.* (2007) ศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ (xylanase และ β -glucanase) ในสูตรอาหารที่มีเปลือกข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบต่อลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อและไก่ไข่ พบว่าความสูงและความกว้างของวิลลัส ความลึกของคริปต์ สัดส่วนของความสูงต่อความกว้างของวิลลัส และสัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ในลำไส้เล็กของไก่เนื้อมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และส่งผลทำให้ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารดังกล่าวในไก่ไข่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพบว่าการเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 50 และ 100 กรัม/100 กิโลกรัม ในอาหารไก่ไข่ ส่งผลให้ความสูงและความกว้างของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และสัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม เจจูนัม และอิลีียม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ และยังทำให้จำนวนเซลล์หลังเยื่อเมือก (goblet cell) บนวิลลัสในลำไส้เล็กของไก่ไข่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดย Viveros *et al.* (1994) รายงานว่าไก่เนื้อที่ได้รับข้าวบาร์เลย์ 60 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร จะมีผลทำให้เยื่อผิวของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมสั้น (shortening) หนา (thickening) และฝ่อตัว (atrophy) ลง ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการเติมเอนไซม์ β -glucanase ลงในสูตรอาหาร นอกจากนี้ยังทำให้จำนวนเซลล์หลังเยื่อเมือกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรข้าวโพด

Mathlouthi *et al.* (2002) อธิบายว่าการเสริมเอนไซม์ (xylanase และ β -glucanase) ที่ระดับ 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหารที่มีข้าวไรย์เป็นองค์ประกอบจะช่วยทำให้การย่อยได้ของโภชนะและสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อดีขึ้น อาจเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวของวิลลัสมากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของวิลลัสในลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเสริมเอนไซม์จึงมีความจำเป็นในการช่วยลดสารขัดขวางโภชนะ (Choct and Annison, 1992) โดย Yaras and Forbes (2000) กล่าวว่าความหนืดของสิ่งย่อยจะลดลงเมื่อมีการเสริมเอนไซม์ลงในสูตรอาหาร โดยอาจจะช่วยในการปรับปรุงลักษณะผนังเซลล์ของลำไส้เล็ก

Wu *et al.* (2004) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ xylanase ลงในอาหารสูตรข้าวสาลี มีผลทำให้ความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และจำนวนเซลล์หลังเยื่อเมือกในลำไส้เล็กส่วนอิลีียมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Iji *et al.* (2001) ที่รายงานว่าไก่เนื้อที่ได้รับเอนไซม์ xylanase ในอาหารสูตรข้าวสาลี จะมีความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และพื้นที่ผิวของวิลลัส (villus surface area) ในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม เจจูนัม และอิลีียมไม่แตกต่างกัน

ปัจจุบันมีการนำเอนไซม์มาใช้ผสมอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับอาหาร สัตว์บางประเภท เช่น ไก่ และสุกร เนื่องจากการย่อยเยื่อใยของสัตว์เหล่านี้มักเกิดขึ้นได้น้อย ทำให้มี ส่วนของอาหารที่ไม่ได้ย่อยถูกขับออกมา หากมันสำปะหลังจะมีเยื่อใยพวกโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่ แป้ง (NSP) โดย NSP ที่ละลายน้ำได้มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ พองตัวเป็นวุ้น ทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากตัวสัตว์ ส่งผล ให้การย่อยได้ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่เล็ก ดังนั้นการเสริม NSP-degrading enzymes จะช่วย เพิ่มค่าการย่อยได้และลดความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร โดยเอนไซม์ต่างๆ สามารถเข้าทำ ปฏิกิริยากับสิ่งย่อยได้ ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารทำให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์มาก ขึ้น ดังนั้นงานทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ประเภทของ NSP ที่อยู่ในกากมันสำปะหลัง เพื่อที่จะ เลือกชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ให้เหมาะสม เพื่อศึกษาผลต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และ ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 การศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes ในไก่เนื้อ

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

การศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes จะใช้ไก่เนื้อพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ อายุ 21 วัน จำนวน 360 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว เลี้ยงในกรงทดลองหาการย่อยได้ (metabolic cage) ขนาด 120 x 70 x 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นอาหารผง โดยได้ทำการเสริมโครมิกออกไซด์ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของอาหาร โดยสุมไก่เนื้อให้ได้รับอาหารทดลอง ดังนี้

- สูตรที่ 1 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 4 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์และเสริมเอนไซม์
- สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ และเสริมเอนไซม์
- สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริมเอนไซม์

กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นกากมันสำปะหลังที่ได้มาจากแหล่งเดียวกัน กับปรีดาและคณะ (2552) ซึ่งมีองค์ประกอบทางโภชนะ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 8 และผลการศึกษา ค่าการย่อยได้ของโภชนะของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยใช้ข้อมูล ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้มาคำนวณสูตรอาหารทดลอง โดยวริยา และคณะ (2552) ได้ศึกษาหา องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลส (non cellulose NSP) ของกากมัน

สำปะหลังจากแหล่งเดียวกัน โดยการสังเคราะห์ด้วยวิธี enzymatic method ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10

เอนไซม์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ NSP-degrading enzymesแบบรวมหลายชนิด (cocktail) ซึ่งใน 1 กิโลกรัมของเอนไซม์ที่ใช้ประกอบด้วย β -Mannanase 200 MU, Xylanase 440 MU, β -Glucanase 230-270 MU, α -Amylase 80-120 MU, Cellulase 80-100 MU และ Pectinase 2-3 MU (MU ย่อจาก million units) โดยมีชื่อทางการค้าว่า WheatEase[®]-M Mp ของบริษัท ChemGen Corp. และใช้เสริมในปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในสูตรอาหาร ตามคำแนะนำของผู้ผลิต ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้เอนไซม์ชนิดนี้เหมาะสมกับ NSP ที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลัง โดยไก่เนื้อที่อายุ 21 วันจะได้รับน้ำและอาหารทดลองอย่างเต็มที่เป็นเวลา 10 วัน (*ad libitum*) อาหารทุกสูตรทำการคำนวณให้มีองค์ประกอบทางเคมีครบตามความต้องการของไก่เนื้อ (NRC, 1994) ดังแสดงในตารางที่ 10 หลังจากนั้นในช่วง 3 วันสุดท้ายของการทดลองทำการสุ่มเก็บมูลประมาณ 200 กรัม โดยมูลที่เก็บต้องมูลที่ใหม่และปราศจากการปนเปื้อนของอาหารทดลองและเศษขี้ไก่ จากนั้นทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของมูลให้มีค่าประมาณ 4 แล้วนำมูลที่ได้ในแต่ละวันเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วผสมจนเข้ากันดี หลังจากนั้นนำมูลไปตากแดดให้แห้ง แล้วจึงนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ทางเคมี

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและมูล
2. เครื่องมือและสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณโครมิกออกไซด์ (chromic oxide; Cr_2O_3)

ของอาหารทดลองและมูล

3. กรงหาการย่อยได้ทดลอง
4. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บมูลไก่
5. เครื่องผสมอาหาร

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองนี้มีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ การเสริม NSP-degrading enzymes ซึ่งมี 2 ระดับ ได้แก่ การเสริมและการไม่เสริมเอนไซม์ และปัจจัยที่ 2 คือ ระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และจัดรูปของการทดลองแบบแฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (2 x 3 factorial experiment in completely randomized design) โดยแบ่งไก่เนื้อออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ตัว 6 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว กลุ่มไก่ทดลองให้ได้รับอาหารทดลองที่มีองค์ประกอบทางโภชนาตามความต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 11

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาความชื้น ไขมัน และโปรตีน โดยวิธีการ proximate analysis และวิเคราะห์พลังงานรวมโดยใช้ bomb calorimeter รวมทั้งวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโครมิกออกไซด์ตามวิธีของ Bolin *et al.* (1952) ในอาหารทดลองและมูลไก่

การบันทึกข้อมูล

บันทึกค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ไขมัน และพลังงานของอาหารทดลองและมูลไก่ โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าการย่อยได้ (เปอร์เซ็นต์)} = 100 - 100 \times \left[\frac{\% \text{โครมิกออกไซด์ในอาหาร} \times \% \text{โภชนะในมูล}}{\% \text{โครมิกออกไซด์ในมูล} \times \% \text{โภชนะในอาหาร}} \right]$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Tukey's honestly โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งมีแบบหุ่นทางสถิติคือ

โดยที่	$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$
	Y_{ijk} แทนค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ (combination) ที่ ij ซ้ำที่ k เมื่อ $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
	μ แทนค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง
	α_i แทนอิทธิพลเนื่องจากปัจจัย A (main effect A) ที่ระดับ i เมื่อ $i = 1, 2$
	β_j แทนอิทธิพลเนื่องจากปัจจัย B (main effect B) ที่ระดับ j เมื่อ $j = 1, 2, 3$
	$(\alpha\beta)_{ij}$ แทนอิทธิพลร่วมเนื่องจากปัจจัย A และ B (interaction AB) ที่ระดับ ij
	ε_{ijk} แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางโภชนะของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ
ความชื้น	11.34
โปรตีน	3.42
ไขมัน	0.50
เยื่อใย	14.75
เถ้า	5.73
NDF	43.31
ADF	32.02
แคลเซียม	0.73
ฟอสฟอรัส	0.21
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4002.96
แป้ง	47.97

ที่มา: ปรีดาและคณะ (2552)

ตารางที่ 9 ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง
และอาหารทดลองที่ใช้กากมันสำปะหลัง

รายการ	อาหารทดลอง ^{1/}	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ค่าการย่อยได้ของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	72.17	70.18
ค่าการย่อยได้ของไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	92.31	92.48
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3658.62	3399.51
ค่าการย่อยได้ของโปรตีนในกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	-	62.19
ค่าการย่อยได้ของไขมันในกากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	-	93.16
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของกากมันสำปะหลัง (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	-	2363.04

หมายเหตุ ^{1/}สูตรที่ 1 อาหารสูตรควบคุม

สูตรที่ 2 อาหารสูตรควบคุม 80 เปอร์เซ็นต์ + กากมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

ที่มา: ปรีดาและคณะ (2552)

ตารางที่ 10 องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง

รายการ	กากมันสำปะหลัง		
	NSP ที่ละลายน้ำ	NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	NSP รวม
Arabinose (เปอร์เซ็นต์)	0.505	0.435	0.940
Xylose (เปอร์เซ็นต์)	0.101	1.799	1.900
Mannose (เปอร์เซ็นต์)	0.210	0.030	0.240
Galactose (เปอร์เซ็นต์)	1.480	0.630	2.110
Glucose (เปอร์เซ็นต์)	0.710	0.320	1.030

ที่มา: วริยา และคณะ (2552)

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 18-38 วัน

วัตถุดิบ	สูตรอาหารทดลอง		
	1, 4	2, 5	3, 6
ข้าวโพด	58.77	51.79	44.81
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน)	21.76	22.60	23.43
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	8.00	8.00	8.00
น้ำมันถั่วเหลือง	4.02	5.20	6.38
ปลาป่น (58% โปรตีน)	5.00	5.00	5.00
โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต (P21)	0.99	1.01	1.02
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.69	0.66	0.62
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.19	0.20	0.21
โคลีนคลอไรด์ (50%)	0.01	0.01	0.01
เกลือ	0.30	0.30	0.29
ฟิสิกซ์ไวตามินและแร่ธาตุ	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้			
(กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3200.00	3200.00	3200.00
โปรตีน	20.00	20.00	20.00
ธัญ	3.29	3.45	3.61
ไขมัน	8.19	9.16	10.14
เยื่อใย	3.44	3.73	4.02
แคลเซียม	0.85	0.85	0.85
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.68	0.69	0.69
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+ซิสตีน	0.85	0.85	0.85
โซเดียม	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ สูตรอาหารทุกสูตรมีการเสริมชาลินินมายซิน 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อเป็นยากันบิด
 สูตรอาหารที่ 1-3 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
 สูตรอาหารที่ 4-6 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เสริมด้วย
 NSP-degrading enzymes 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
 ส่วนประกอบของฟิสิกซ์ไวตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์วิตามินและแร่ธาตุ

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
กรดแพนโทเทนิก	3.36 กรัม
ไบโอติน	0.01 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
สารธอนมคุณภาพอาหารสัตว์รวม	4.80 กรัม

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต, ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

ศึกษาผลการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 อายุ 1 วัน จำนวนทั้งสิ้น 1,800 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้ 900 ตัว และเพศเมีย 900 ตัว ใช้เวลาเลี้ยงทั้งหมด 45 วัน

อาหารทดลอง

อาหารทดลองที่ใช้ในครั้งนี้เป็นอาหารผง ซึ่งจะคำนวณตามคำแนะนำของ NRC (1994) โดยปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ 3 ระยะ คือ starter diet (อายุ 1-17 วัน), grower diet (อายุ 18-38 วัน) และ finisher diet (อายุ 39-45 วัน) องค์ประกอบของสูตรอาหารและคุณค่าทางโภชนาการจากการคำนวณแสดงในตารางที่ 13, 14 และ 15 โดยไก่เนื้อแต่ละกลุ่มจะสุมให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 6 สูตร ดังนี้

- สูตรที่ 1 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์
- สูตรที่ 4 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์และเสริมเอนไซม์
- สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์และเสริมเอนไซม์
- สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์และเสริมเอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ NSP-degrading enzymes แบบรวมหลายชนิด (cocktail) ซึ่งใน 1 กิโลกรัมของเอนไซม์ที่ใช้ประกอบด้วย β -Mannanase 200 MU, Xylanase 440 MU, β -Glucanase 230-270 MU, α -Amylase 80-120 MU, Cellulase 80-100 MU และ Pectinase 2-3 MU โดยมีชื่อทางการค้าว่า WheatEase[®]-M Mp ของบริษัท ChemGen Corp. และใช้เสริมในปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในสูตรอาหาร ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

อุปกรณ์และสารเคมี

1. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง
2. หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 ดวงต่อคอก สำหรับกกลูกไก่ในช่วง 3 สัปดาห์แรก
3. ถังแขวนให้อาหาร และถังใส่อาหารทดลอง
4. อุปกรณ์ให้น้ำ
5. เครื่องชั่งดิจิตอล สำหรับชั่งน้ำหนักไก่เนื้อ และน้ำหนักซาก
6. อุปกรณ์สำหรับการชำแหละซาก
7. เครื่องผสมอาหาร

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองนี้มีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ การเสริม NSP-degrading enzymes ซึ่งมี 2 ระดับ ได้แก่ การเสริมและการไม่เสริมเอนไซม์ และปัจจัยที่ 2 คือ ระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ใช้การจัดรูปของการทดลองแบบแฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (2 x 3 factorial experiment in randomized complete block design) โดยใช้เพศของไก่เป็นบล็อก ใช้ไก่เนื้อจำนวนทั้งสิ้น 1,800 ตัว แบ่งไก่เนื้อออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แบ่งเพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ และแต่ละซ้ำมี 50 ตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว รวมทั้งหมด 180 ตัว ทำการฆ่าและนำมาชำแหละ เพื่อศึกษาลักษณะซาก

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบโภชนาต่างๆ ในอาหารที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยวิธีการ proximate analysis และวิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

สุ่มไก่เนื้ออายุ 14 และ 28 วัน ในแต่ละเช้า เข้าละ 2 ตัว รวมทั้งหมด 144 ตัว ทำการเก็บลำไส้เล็กส่วนเจจุน้มาทำสไลด์ตามขั้นตอนทาง histology technique เพื่อวัดความสูงของวิลลัส (วัดจาก brush-border membrane ถึง basolateral membrane) และความลึกของคริปต์ (วัดจากฐานของคริปต์ที่ basement membrane ถึงปาก basement membrane) และสัดส่วนของความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ ตามวิธีของ Brunsgaard (1998)

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะตามช่วงอายุ โดยแต่ละช่วงจะทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. น้ำหนักตัวไก่เริ่มต้นและสิ้นสุดของทุกช่วงอายุ
2. ปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุ
3. จำนวนไก่ตาย น้ำหนักไก่ตาย และอาหารที่เหลือในคอกที่ไก่ตายในแต่ละวัน
4. สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารทดลองของทุกสูตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนา
5. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือน ซึ่งจะมีการจดบันทึกทุกวัน วันละ 3 ครั้ง ที่เวลา 07.00, 12.00 และ 15.00 น.

6. เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ในแต่ละเช้า เข้าละ 5 ตัว รวมทั้งหมด 180 ตัว เพื่อนำมาฆ่าและชำแหละเพื่อศึกษาคุณภาพซาก

7. สุ่มไก่เมื่ออายุ 14 และ 28 วัน ในแต่ละเช้า เข้าละ 2 ตัว รวมทั้งหมด 144 ตัว เก็บตัวอย่างบริเวณลำไส้เล็กส่วนเจจุน้ เพื่อวัดความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และสัดส่วนของความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)} = \frac{\text{นน. ตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{นน. ตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

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

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนไก่ตายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว รวมทั้งหมด 180 ตัว เพื่อนำมาผ่าและชำแหละเพื่อตรวจสอบคุณภาพซาก โดยทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

- บันทึกน้ำหนักมีชีวิต (live weight)
- บันทึกน้ำหนักซากสด (dressed weight) หรือน้ำหนักซากหลังถอนขน
- บันทึกน้ำหนักเครื่องในรวม (ตับ กิ่ง หัวใจ) (visceral organs weight)
- บันทึกน้ำหนักคอและหัว (head and neck weight)
- บันทึกน้ำหนักเนื้อหน้าอก (breast weight)
- บันทึกน้ำหนักสะโพก (thigh weight)
- บันทึกน้ำหนักน่อง (drumstick weight)
- บันทึกน้ำหนักปีก (wing weight)
- บันทึกน้ำหนักแข้ง (shank weight)
- บันทึกน้ำหนักไขมันช่องท้อง (abdominal fat weight)
- บันทึกน้ำหนักโครงกระดูก (skeleton weight)

ค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์เครื่องในรวม} = \frac{\text{น้ำหนักเครื่องในรวม} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสด}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์คอและหัว} = \frac{\text{น้ำหนักคอและหัว} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสด}}$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์โครงกระดูก} = \frac{\text{น้ำหนักโครงกระดูก} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสด}}$$

โปรแกรมการทำวัคซีน

เมื่อไก่เนื้ออายุได้ 14 วัน ทำวัคซีนชนิดกัมโบโร โดยวิธีหยอดวัคซีนทางปาก และเมื่ออายุได้ 21 วัน ทำวัคซีนชนิดนิวคาสเซิลและหลอดลมอักเสบ โดยวิธีการหยอดตา

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกทั้งหมดไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Tukey's honestly โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งมีแบบหุนทางสถิติคือ

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk}	แทนค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์ (combination) ที่ jk ซ้ำที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
μ	แทนค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง
B_i	แทนอิทธิพลเนื่องจากบล็อก
α_j	แทนอิทธิพลเนื่องจากปัจจัย A (main effect A) ที่ระดับ j เมื่อ $j = 1, 2$
β_k	แทนอิทธิพลเนื่องจากปัจจัย B (main effect B) ที่ระดับ k เมื่อ $k = 1, 2, 3$
$(\alpha\beta)_{jk}$	แทนอิทธิพลร่วมเนื่องจากปัจจัย A และ B (interaction AB) ที่ระดับ jk
ε_{ijk}	แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตารางที่ 13 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 1-17 วัน

วัตถุดิบ	สูตรอาหารทดลอง		
	1, 4	2, 5	3, 6
ข้าวโพด	52.74	45.72	38.73
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน)	25.61	26.49	27.32
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00
น้ำมันถั่วเหลือง	3.99	5.19	6.37
ปลาป่น (58% โปรตีน)	5.00	5.00	5.00
โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต (P21)	1.14	1.15	1.16
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.72	0.69	0.65
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.21	0.22	0.23
แอล-ไลซีน	0.02	-	-
โคลีนคลอไรด์ (50%)	0.01	0.01	0.01
เกลือ	0.31	0.30	0.29
พรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุ	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้			
(กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3150.00	3150.00	3150.00
โปรตีน	22.00	22.00	22.00
ถั่ว	3.44	3.61	3.77
ไขมัน	8.35	9.34	10.31
เยื่อใย	3.66	3.95	4.24
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.74	0.74	0.74
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+ซิสตีน	0.92	0.92	0.92
โซเดียม	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ สูตรอาหารทุกสูตรมีการเสริมซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อเป็นยาต้านบิด
 สูตรอาหารที่ 1-3 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
 สูตรอาหารที่ 4-6 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เสริมด้วย
 NSP-degrading enzymes 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
 ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 14 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 18-38 วัน

วัตถุดิบ	สูตรอาหารทดลอง		
	1, 4	2, 5	3, 6
ข้าวโพด	58.77	51.79	44.81
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน)	21.78	22.60	23.43
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	8.00	8.00	8.00
น้ำมันถั่วเหลือง	4.02	5.20	6.38
ปลาป่น (58% โปรตีน)	5.00	5.00	5.00
โมโนไคแคลเซียมฟอสเฟต (P21)	0.99	1.01	1.02
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.69	0.66	0.62
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.19	0.20	0.21
โคลีนคลอไรด์ (50%)	0.01	0.01	0.01
เกลือ	0.30	0.30	0.29
พรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุ	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนาะโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้			
(กิโกลแคลอรี/กิโลกรัม)	3200.00	3200.00	3200.00
โปรตีน	20.00	20.00	20.00
ถั่ว	3.29	3.45	3.61
ไขมัน	8.19	9.16	10.14
เยื่อใย	3.44	3.73	4.02
แคลเซียม	0.85	0.85	0.85
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.68	0.69	0.69
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+ซิสตีน	0.85	0.85	0.85
โซเดียม	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ สูตรอาหารทุกสูตรมีการเสริมซาลิโนมายซิน 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เพื่อเป็นยาต้านบิด
 สูตรอาหารที่ 1-3 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
 สูตรอาหารที่ 4-6 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เสริมด้วย
 NSP-degrading enzymes 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
 ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบในสูตรอาหารไก่เนื้ออายุ 39-45 วัน

วัตถุดิบ	สูตรอาหารทดลอง		
	1, 4	2, 5	3, 6
ข้าวโพด	63.69	56.71	49.72
กากมันสำปะหลัง	0.00	5.00	10.00
กากถั่วเหลือง (44% โปรตีน)	17.32	18.15	18.97
กากถั่วเหลืองไขมันเต็ม	10.00	10.00	10.00
น้ำมันถั่วเหลือง	3.16	4.34	5.52
ปลาป่น (58% โปรตีน)	3.00	3.00	3.00
โมโนไคแคลเซียมฟอสเฟต (P21)	1.19	1.20	1.22
แคลเซียมคาร์บอเนต	0.84	0.80	0.77
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.20	0.21	0.22
เกลือ	0.35	0.34	0.33
พรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุ	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00
องค์ประกอบทางโภชนาการโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)			
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้			
(กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3200.00	3200.00	3200.00
โปรตีน	18.00	18.00	18.00
เถ้า	2.58	2.74	2.90
ไขมัน	7.66	8.63	9.60
เยื่อใย	3.33	3.62	3.91
แคลเซียม	0.80	0.80	0.80
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.66	0.67	0.67
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+ซิสตีน	0.80	0.80	0.80
โซเดียม	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ สูตรอาหารที่ 1-3 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
 สูตรอาหารที่ 4-6 มีระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เสริมด้วย
 NSP-degrading enzymes 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
 ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวยาตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 12

สถานที่ทำการทดลอง

1. เลี้ยงสัตว์ทดลอง ณ โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
3. การเตรียมเนื้อเยื่อทางเทคนิคจุลกายวิภาค ที่ห้องปฏิบัติการ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง: เดือนมิถุนายน 2551

สิ้นสุดการทดลอง: เดือนธันวาคม 2551

ผลและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 การศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes ในไก่เนื้อ

ผลการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในสูตรอาหารกากมันสำปะหลังที่เสริม NSP-degrading enzymes ของไก่เนื้ออายุ 21 วัน แสดงในตารางที่ 15 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีน ค่าการย่อยได้ของไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้เอนไซม์ พบว่าการเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนและค่าการย่อยได้ของไขมัน แตกต่างจากการไม่เสริม NSP-degrading enzymes อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การเสริม NSP-degrading enzymes มีแนวโน้มที่จะทำให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อเพิ่มขึ้น ($P = 0.0595$)

สำหรับผลจากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ พบว่าการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ค่าการย่อยได้ของไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากการทดลองนี้ ระดับของเชื้อโดยรวมในสูตรอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 18 โดยที่ใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ส่งผลให้มีระดับเชื้อโดยรวมในสูตรอาหารสูงถึง 4.70 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ได้มีการคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ระดับของโปรตีนรวมทั้งโภชนะต่างๆ ให้เท่ากันทุกสูตรโดยมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสูตรอาหารเท่ากับ 3200 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ไก่เนื้อจึงสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารในสูตรกากมันสำปะหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับอาหารสูตรข้าวโพด-กากถั่วเหลือง อีกทั้งจะเห็นได้จากการทดลองว่าระดับของเชื้อโดยรวมในสูตรอาหารที่สูงขึ้นถึง 4.70 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารนั้น ไม่มีผลกระทบแต่อย่างใดต่อการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในสูตรอาหารไก่เนื้อ

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ในสูตรอาหารทดลองพบว่า มีแนวโน้มทำให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 42.21 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Saleh *et al.* (2005) ที่รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ที่เป็นแบบชนิดรวม (ประกอบด้วย

cellulase, hemicellulase และ pectinase) ลงในสูตรอาหารพื้นฐานที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบจะทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ค่าการย่อยได้ของเถ้า รวมทั้งพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อสูงขึ้น โดย Langhout (2000) อธิบายว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีส่วนประกอบของ NSP ที่ละลายน้ำได้ จะมีผลต่อการเพิ่มความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร และเมื่อ NSP แตกตัวจะมีลักษณะเป็นสารเหนียวคล้ายวุ้น ซึ่งจะไปห่อหุ้มสารอาหารชนิดอื่นๆ ทำให้เอนไซม์จากสัตว์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ ทำให้การเจริญเติบโต สมรรถภาพการผลิต และการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของไก่เนื้อลดลง จากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยสูตรอาหารที่ประกอบด้วยข้าวสาลีที่มี NSP ประเภท arabinoxylan เป็นองค์ประกอบ พบว่าส่งผลทำให้ความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารเพิ่มขึ้นและการย่อยได้ของโภชนะลดลง รวมทั้งยังทำให้การดูดซึมสารอาหารและสมรรถภาพการผลิตลดลงด้วย (Choct and Annison, 1992) แต่เมื่อทำการเสริมเอนไซม์ pentosanase และ β -glucanase ลงในอาหารสูตรข้าวสาลี พบว่ามีผลช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและลดความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารได้ โดยเอนไซม์เหล่านี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะของ NSP ทำให้สารอาหารที่ถูกห่อหุ้มถูกปลดปล่อยออกมา การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ จึงสูงขึ้น สัตว์ก็จะสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น (Annison and Choct, 1991) สำหรับกากมันสำปะหลังที่ใช้ในทดลองนี้มีผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยพบว่ากากมันสำปะหลังมี NSP ประเภท arabinoxylan ที่ละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบ การเสริม NSP-degrading enzymes ชนิดรวมซึ่งมีส่วนประกอบของ xylanase ลงในสูตรอาหาร จึงน่าจะช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร เกิดการปลดปล่อยสารอาหารที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น จึงมีผลให้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของสูตรอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P = 0.0595$)

ตารางที่ 16 ค่าการย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารทดลอง

อิทธิพล	ค่าการย่อยได้ ของโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการย่อยได้ ของไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	70.62	93.48	3498.57
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	70.66	93.31	3487.99
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	70.67	92.59	3432.79
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	70.97	93.50	3518.30
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	70.85	93.96	3514.31
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	70.87	93.81	3513.39
P-value	0.9076	0.9178	0.2713
ระดับเอนไซม์			
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	70.65	93.13	3473.12
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	70.90	93.76	3515.33
P-value	0.1254	0.6117	0.0595
ระดับกากมันสำปะหลัง			
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	70.80	93.49	3508.44
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	70.76	93.64	3501.15
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	70.77	93.20	3473.09
P-value	0.9792	0.9667	0.1884
Pooled SE	0.48	2.54	46.72

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิต, ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อตรวจวัดองค์ประกอบของโภชนะต่างๆ ในอาหารทดลองของไก่เนื้อแต่ละช่วงอายุ แสดงในตารางที่ 17, 18 และ 19 พบว่า ปริมาณโภชนะของอาหารทดลองของไก่เนื้อแต่ละสูตรในช่วงระยะเดียวกัน จะมีปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ถั่ว แคโรทีน ฟอสฟอรัส และพลังงาน ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของโภชนะที่ได้จากการคำนวณ

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน แสดงในตารางที่ 20 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้เอนไซม์พบว่า การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์จะมีปริมาณอาหารที่กินต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อตลอดช่วงอายุ 1-17 วัน เท่ากับ 713.19 และ 738.75 กรัม ตามระดับการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ในสูตรอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์จะช่วยให้ประสิทธิภาพของการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ให้ดีขึ้น (บุญล้อม, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่พบว่าเมื่อมีการเสริม NSP-degrading enzymes มีแนวโน้มทำให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของไก่เนื้อเพิ่มสูงขึ้น โดยปกติไก่เนื้อจะกินอาหารเพื่อให้ได้รับพลังงานในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย (สาโรช, 2547) จากการทดลองไก่เนื้อกลุ่มที่มีการเสริมเอนไซม์ในสูตรอาหารมีแนวโน้มว่าจะได้รับพลังงานที่ใช้ประโยชน์จากอาหารสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม

เอนไซม์ในสูตรอาหาร ดังนั้นไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับเอนไซม์ในสูตรอาหารจึงได้รับพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากอาหารอย่างเพียงพอ แม้ว่าจะกินอาหารในปริมาณที่น้อยกว่า

นอกจากนี้ผลจากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ พบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและอัตราการตายของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่การใช้กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร จะส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยปริมาณอาหารที่กินตลอดช่วงอายุ 1-17 วัน เท่ากับ 740.40, 732.11 และ 708.91 กรัม ตามระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร และในขณะเดียวกันการใช้กากมันสำปะหลังในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ยังส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุ 1-17 วัน เท่ากับ 606.65, 588.47 และ 569.41 กรัม ตามระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไก่เนื้อในระยะนี้เป็นไก่เล็ก ระบบทางเดินอาหารยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ (Zubair and Leeson, 1994) รวมทั้งปริมาณหรือความจุของกระเพาะอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัด ก็เป็นอีกปัจจัยหลักที่ควบคุมการกินได้ของไก่เนื้อ (สาโรช และ เขาวมาลย์, 2531) การกินอาหารที่ประกอบด้วยกากมันสำปะหลังซึ่งมีปริมาณของเยื่อใยที่สูง (ปริมาณเยื่อใยในกากมันสำปะหลังเท่ากับ 14.75 เปอร์เซ็นต์) มีลักษณะฟาม เบา จึงส่งผลทำให้ไก่เนื้อกินอาหารได้น้อยลง ปริมาณโภชนาที่ได้รับจึงลดลง ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นลดลงตามไปด้วย ปรีดา และคณะ (2552) รายงานว่าการอัดเม็ดอาหารสูตรกากมันสำปะหลังส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารผง เนื่องจากการอัดเม็ดอาหารช่วยลดปัญหาความฟามของอาหาร ทำให้ไก่เนื้อกินอาหารได้มากขึ้น นอกจากนี้กากมันสำปะหลังยังมีองค์ประกอบที่เป็น NSP ทั้งละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ โดย NSP ที่ละลายน้ำได้จะมีการจับตัวกันอยู่ในรูปของเจล ทำให้สิ่งข่อยมีลักษณะเหนียว ชื่น และหนืด (Rotter *et al.*, 1990) เมื่อมีระดับกากมันสำปะหลังในอาหารสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อต่อทางเดินอาหารของไก่เนื้อ โดยเฉพาะไก่เนื้อในระยะเล็ก อุทัย (2529) กล่าวว่าวัตถุดิบอาหารที่มีระดับเยื่อใยสูง จะมีการย่อยได้ต่ำ และทำให้คุณค่าทางอาหาร รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง โดยเยื่อใยจะเป็นตัวอุดน้ำระหว่างที่อยู่ในทางเดินอาหาร ทำให้อาหารมีความถ่วงจำเพาะสูง อาหารจึงเคลื่อนที่เร็วขึ้น เอนไซม์ในทางเดินอาหารจึงทำงานได้ไม่เต็มที่ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของอาหารลดลง และสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อก็ลดลงด้วย

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 18-38 วัน

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 18-38 วัน แสดงในตารางที่ 21 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้เอนไซม์พบว่า การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

นอกจากนี้ผลจากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าไก่เนื้อในระยะนี้สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีระดับกากมันสำปะหลังสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารได้ โดยไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและอัตราการตาย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไก่เนื้อที่มีอายุมากขึ้นสามารถปรับตัวเข้ากับอาหารประเภทเชื้อใยสูงได้มากขึ้นด้วย (Yu *et al.*, 1998) รวมทั้งการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อ จะทำให้ระดับของเชื้อใยรวมในสูตรอาหารเท่ากับ 2.95, 3.67 และ 4.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับไก่เนื้อในระยะนี้ คือ ไม่ควรมีเชื้อใยเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์, 2542)

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 39-45 วัน

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 39-45 วัน แสดงในตารางที่ 22 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้เอนไซม์พบว่า การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและอัตราการตายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์จะมีปริมาณอาหารที่กินต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยปริมาณอาหารที่กินตลอดช่วงอายุ 39-45 วัน เท่ากับ 946.60 และ 1193.48 กรัม ตามระดับการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ในสูตรอาหาร และในขณะเดียวกันไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์จะมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุ 39-45 วัน เท่ากับ 479.88 และ 581.90 กรัม ตามระดับการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ในสูตรอาหาร ผลจากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ลงในสูตรอาหารไก่เนื้อ น่าจะมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยพลังงานในอาหารออกมาให้กับไก่เนื้อได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1 สัตว์จึงได้รับพลังงานใช้ประโยชน์ได้จากอาหารมากขึ้น ทำให้ปริมาณอาหารที่กินน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ แต่อย่างไรก็ตามการที่ไก่เนื้อกินอาหารได้น้อยลง อาจส่งผลให้ปริมาณโภชนาอื่นที่ไก่เนื้อได้รับลดลง จึงส่งผลกระทบทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อลดลงด้วย

นอกจากนี้ผลจากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าไก่เนื้อในระยะนี้ก็สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีระดับกากมันสำปะหลังสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารได้ โดยไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวและอัตราการตาย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร รวมทั้งการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อจะทำให้ระดับของเชื้อโรครวมในสูตรอาหารเท่ากับ 2.42, 3.50 และ 4.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือ ไม่ควรมีเชื้อโรครวมเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์, 2542) สำหรับไก่เนื้อในระยะนี้ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับไก่เนื้อที่อายุ 18-38 วัน

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1-45 วัน

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1-45 วัน แสดงในตารางที่ 23 จากการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-

degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตาย ($P>0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้เอนไซม์พบว่า การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์จะมีปริมาณอาหารที่กินตลอดการทดลองต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์เท่ากับ 389.21 กรัม ($P<0.01$) หรือคิดเป็น 8.57 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่เนื้อช่วงอายุ 1-17 วัน ทำให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดลงในระยะแรก ($P = 0.1589$) และส่งผลกระทบต่อเนื่องทำให้น้ำหนักตัวไก่เนื้อลดลงอย่างชัดเจนในช่วงอายุ 39-45 วัน มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อตลอดทั้งการทดลองลดลงและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อที่ได้รับเอนไซม์ในสูตรอาหารมีแนวโน้มลดลง ($P = 0.1390$) เนื่องจากใช้ไก่ทดลองชุดเดียวกันมาโดยตลอด ข้อสันนิษฐานอีกประการหนึ่งที่ยังไม่ได้มีการพิสูจน์ในการทดลองครั้งนี้คือ สาเหตุที่ทำให้ไก่ทดลองที่กินอาหารที่เสริมเอนไซม์มีปริมาณการกินอาหารลดลง อาจเกิดจากรสชาติของอาหารที่แตกต่างจากสูตรอาหารปกติ เนื่องจากไก่มีระบบประสาทในการรับรสชาติของอาหาร (วิโรจน์, 2537) อาหารที่มีรสชาติผิดปกติไปอาจทำให้ไก่กินอาหารได้น้อยลง ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้รับโภชนาการต่างๆ ลดน้อยลง การเจริญเติบโตจึงลดลงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามข้อสันนิษฐานนี้ยังไม่มีข้อมูลรองรับ จึงอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

นอกจากนี้ผลจากการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรกากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ กัน พบว่า ปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการตายตลอดการทดลองของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังทุกระดับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าปริมาณอาหารที่กินจะลดลงตามระดับการใช้กากมันสำปะหลังที่สูงขึ้น ($P = 0.1889$) ทำให้สัตว์ได้รับปริมาณโภชนาการลดลง โดยการใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อตลอดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สูตรอาหารที่ไม่มีกากมันสำปะหลัง แต่การใช้กากมันสำปะหลังในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับกากมันสำปะหลัง 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองเท่ากับ 2753.81, 2704.01 และ 2574.86 กรัม ตามระดับกากมันสำปะหลัง 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ทั้งนี้ก็อาจจะเป็นผลกระทบที่ต่อเนื่องมาตั้งแต่ระยะแรกของการเลี้ยงไก่เนื้อ (1-17 วัน)

เมื่อมีการใช้กากมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร จะทำให้ปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นแตกต่างจากการไม่ใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหาร

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 1-17 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง ^{1/}					
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
วัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	90.95	90.94	91.07	91.28	91.25	91.19
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	22.56	22.52	22.45	22.34	22.26	22.37
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.61	9.84	10.83	8.82	9.73	10.52
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	3.24	3.71	4.91	3.26	3.88	4.94
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	3.52	3.73	3.80	3.46	3.78	3.81
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.90
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.80	0.84	0.85	0.85	0.84	0.85
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	4578.51	4543.70	4521.42	4549.27	4570.59	4532.41

หมายเหตุ ^{1/}อาหารทดลอง

สูตรที่ 1 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 4 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 18-38 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง ^{1/}					
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
วัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	90.70	90.86	91.13	90.74	90.80	91.00
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	20.52	20.58	20.42	20.44	20.30	20.47
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.25	9.54	10.41	8.83	9.45	10.28
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	2.95	3.67	4.70	2.95	3.64	4.60
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	3.02	3.13	3.14	3.23	3.29	3.27
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.84	0.87	0.86	0.86	0.87	0.85
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.75	0.77	0.72	0.75	0.78	0.73
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	4546.96	4528.28	4573.02	4525.29	4538.16	4574.48

หมายเหตุ ^{1/}อาหารทดลอง

สูตรที่ 1 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 4 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองของไก่เนื้อช่วงอายุ 39-45 วัน

องค์ประกอบ	อาหารทดลอง ^{1/}					
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
วัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	90.72	90.95	90.99	91.11	91.08	90.94
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	18.57	18.60	18.52	18.21	18.26	18.40
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	8.34	9.43	9.69	8.43	9.48	10.02
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	2.42	3.50	4.58	2.60	3.54	4.48
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	2.89	3.01	2.95	2.99	2.83	2.75
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.82	0.82	0.80	0.82	0.84	0.80
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.68	0.73	0.65	0.67	0.70	0.66
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	4548.59	4568.35	4515.33	4509.49	4536.11	4558.44

หมายเหตุ ^{1/}อาหารทดลอง

สูตรที่ 1 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 2 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 4 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 5 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

สูตรที่ 6 อาหารที่มีกากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ และเสริม NSP-degrading enzymes

ตารางที่ 20 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-17 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	617.95	752.04	1.22	0.33
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	597.89	738.69	1.24	1.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	586.16	722.20	1.24	0.33
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	592.53	725.85	1.23	0.33
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	572.76	721.15	1.26	0.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	556.02	698.28	1.26	0.33
P-value	0.4500	0.7074	0.1928	0.7232
ระดับเอนไซม์				
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	601.70	738.75 ^a	1.23	0.56
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	572.38	713.19 ^b	1.25	0.33
P-value	0.1589	0.0280	0.8150	0.4332
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	606.65 ^a	740.40 ^a	1.22	0.33
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	588.47 ^{ab}	732.11 ^{ab}	1.25	0.67
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	569.42 ^b	708.91 ^b	1.25	0.33
P-value	0.0156	0.0038	0.2999	0.5619
Pooled SE	18.01	14.46	0.02	0.88

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันภายใต้อิทธิพลเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 21 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อในช่วงอายุ 18-38 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณ อาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการ เปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1599.38	2581.23	1.62	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1590.31	2574.78	1.63	0.3
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1568.34	2544.70	1.62	0.69
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	1558.51	2439.97	1.57	0.69
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	1536.70	2436.76	1.59	1.39
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	1459.25	2430.93	1.67	0.69
P-value	0.2105	0.5546	0.2227	0.5354
อิทธิพลของปัจจัยหลัก				
ระดับเอนไซม์				
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	1587.27	2568.49	1.62	0.35
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	1511.70	2435.40	1.61	0.93
P-value	0.5984	0.7885	0.4243	0.1099
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	1581.21	2518.45	1.59	0.35
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	1570.21	2523.02	1.61	0.88
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	1507.74	2481.49	1.65	0.70
P-value	0.6648	0.8123	0.3478	0.3016
Pooled SE	67.58	48.91	0.06	1.08

ตารางที่ 22 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อในช่วงอายุ 39-45 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัว ที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณ อาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการ เปลี่ยนอาหาร เป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	604.14	1202.35	2.04	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	585.58	1168.15	2.01	0.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	549.50	1214.05	2.25	0.00
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	518.21	1016.89	1.96	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	468.14	944.44	2.01	0.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	456.27	891.67	1.96	0.00
P-value	0.7614	0.5976	0.8787	1.00
ระดับเอนไซม์				
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	581.90 ^a	1193.48 ^a	2.09	0.00
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	479.88 ^b	946.60 ^b	1.97	0.00
P-value	0.0374	0.0024	0.4239	1.00
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	565.95	1119.92	2.00	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	541.54	1084.26	2.01	0.00
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	497.71	1034.95	2.09	0.00
P-value	0.2893	0.7673	0.5149	1.00
Pooled SE	67.41	113.55	0.32	0.00

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันภายใต้อิทธิพลเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 23 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-45 วัน

อิทธิพล	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2821.46	4568.60	1.62	0.00
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2773.78	4517.35	1.63	1.33
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2704.00	4533.42	1.67	1.00
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2669.24	4233.86	1.59	0.67
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2587.73	4195.79	1.62	1.67
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2471.55	4057.92	1.64	1.00
P-value	0.1258	0.0964	0.9439	0.7713
ระดับเอนไซม์				
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	2770.87	4540.25 ^a	1.64	0.78
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	2566.49	4151.04 ^b	1.62	1.11
P-value	0.1390	0.0061	0.1042	0.4187
ระดับกากมันสำปะหลัง				
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	2753.81 ^a	4419.83	1.61	0.33
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	2704.01 ^a	4396.77	1.63	1.50
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	2574.86 ^b	4269.26	1.66	1.00
P-value	0.0316	0.1889	0.3728	0.0577
Pooled SE	102.72	156.35	0.05	1.08

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันภายใต้อิทธิพลเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะซาก

ผลการศึกษาลักษณะซากของไก่เนื้อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้เอนไซม์ ได้แก่ การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในสูตรอาหาร และระดับการใช้กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมี 3 ระดับ ได้แก่ การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อลักษณะซาก ($P>0.05$) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ซากสด และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ เครื่องในรวม (ตับ กึ๋น หัวใจ) คอและหัว เนื้อหน้าอก สะโพก น่อง น้ำหนักปีก แข้ง ไขมันช่องท้อง และโครงกระดูก ดังแสดงในตารางที่ 24

เมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัยหลักพบว่า การเสริมและไม่เสริม NSP-degrading enzymes ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ลักษณะซากของไก่เนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 25 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Garipoglu *et al.* (2006) ที่ศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ต่อลักษณะซากพบว่า ไก่เนื้อเพศเมียที่ได้รับเอนไซม์ที่ระดับ 1 กิโลกรัม/ตัน จะไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ซากสด และไขมันช่องท้อง เช่นเดียวกับ Torresi *et al.* (2003) ที่รายงานว่า การเสริมเอนไซม์ (amylase, protease และ xylanase) ในอาหารสูตรข้าวโพด-กากถั่วเหลือง ไม่ส่งผลต่อไขมันในช่องท้อง และ Wu and Ravindran (2004) รายงานว่าการเสริมเอนไซม์ xylanase ในอาหารที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ จะไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ซากสด เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก และไขมันในช่องท้อง

ในขณะที่เดียวกันก็พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ลักษณะซากของไก่เนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 24 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลังต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ

คุณภาพซาก	ระดับของเอนไซม์						Pooled SE	P-value
	0 ppm			200 ppm				
	ระดับกากมันสำปะหลัง			ระดับกากมันสำปะหลัง				
	(เปอร์เซ็นต์)			(เปอร์เซ็นต์)				
	0	5	10	0	5	10		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2781.00	2719.83	2640.67	2780.50	2714.83	2634.50	-	-
น้ำหนักซากสด (กรัม)	2509.50	2464.33	2389.17	2504.83	2449.83	2398.83	-	-
เปอร์เซ็นต์ซากสด ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)	92.33	92.40	92.05	92.69	92.38	92.23	1.11	0.6451
น้ำหนักเครื่องใน ^{2/} รวม (เปอร์เซ็นต์)	4.11	4.10	4.00	4.28	4.24	4.05	0.26	0.7465
หัวใจ ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	7.97	7.79	8.08	7.81	7.90	7.91	0.36	0.3838
ปีก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	8.97	9.07	9.19	9.04	8.99	9.08	0.25	0.4819
เนื้อหน้าอก+หนัง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	25.38	25.43	25.56	25.30	25.39	25.36	0.35	0.7671
สะโพก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	15.44	15.44	15.46	15.42	15.46	15.40	0.13	0.5219
น่อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	12.14	12.17	12.35	12.22	12.25	12.16	0.29	0.2448
แข้ง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	4.10	3.96	4.02	4.04	4.04	4.03	0.12	0.1385
ไขมันช่องท้อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	2.03	2.05	1.86	1.86	2.03	1.95	0.32	0.4622
โครง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	20.94	21.05	21.26	21.61	21.11	21.27	0.61	0.1570

หมายเหตุ ^{1/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมีชีวิต

^{2/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากสด

ตารางที่ 25 ผลของระดับเอนไซม์ในอาหารต่อลักษณะซากไก่เนื้อ

คุณภาพซาก	ระดับเอนไซม์		Pooled SE	P-value
	0 ppm	200 ppm		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2713.83	2709.94	-	-
น้ำหนักซากสด (กรัม)	2454.33	2451.17	-	-
เปอร์เซ็นต์ซากสด ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)	92.26	92.43	1.11	0.2955
น้ำหนักเครื่องในรวม ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	4.07	4.19	0.26	0.0790
หัวใจ ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	7.95	7.87	0.36	0.4020
ปีก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	9.08	9.04	0.25	0.5399
เนื้อหน้าอก+หนัง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	25.46	25.35	0.35	0.2174
สะโพก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	15.45	15.43	0.13	0.6245
น่อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	12.22	12.21	0.29	0.8692
แข้ง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	4.03	4.04	0.12	0.8517
ไขมันช่องท้อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	1.98	1.95	0.32	0.7115
โคร่ง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	21.08	21.33	0.61	0.1077

หมายเหตุ ^{1/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมีชีวิต

^{2/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากสด

ตารางที่ 26 ผลของระดับไขมันต่ำปะหลังต่อลักษณะซากของไก่เนื้อ

คุณภาพซาก	ระดับไขมันต่ำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)			Pooled SE	P-value
	0	5	10		
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2780.75	2717.33	2637.58	-	-
น้ำหนักซากสด (กรัม)	2507.17	2457.08	2394.00	-	-
เปอร์เซ็นต์ซากสด ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)	92.50	92.38	92.14	1.11	0.1899
น้ำหนักเครื่องในรวม ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	4.19	4.17	4.02	0.26	0.0840
หัวใจ ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	7.89	7.84	7.99	0.36	0.3996
ปีก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	9.01	9.03	9.13	0.25	0.2502
เนื้อหน้าอก+หนัง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	25.34	25.41	25.46	0.35	0.5248
สะโพก ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	15.43	15.45	15.43	0.13	0.8558
น่อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	12.18	12.21	12.26	0.29	0.6850
แข้ง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	4.07	4.00	4.03	0.12	0.2002
ไขมันช่องท้อง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	1.94	2.04	1.91	0.32	0.3823
โคร่ง ^{2/} (เปอร์เซ็นต์)	21.27	21.08	21.26	0.61	0.5238

หมายเหตุ ^{1/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมีชีวิต

^{2/} คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซากสด

ผลของการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังต่อลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ

ผลการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่กินอาหารทดลองสูตรต่างๆ สุ่มไก่เนื้อที่อายุ 14 และ 28 วัน ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 2 ตัว เก็บตัวอย่างบริเวณลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม เพื่อวัดความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และสัดส่วนของความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ พบว่าการใช้เอนไซม์ ได้แก่ การเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ในสูตรอาหาร และระดับการใส่กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารมี 3 ระดับ ได้แก่ การใส่กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหาร ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และ 28

เมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัยหลักพบว่า การใส่กากมันสำปะหลังที่ระดับต่างๆ และการเสริมหรือไม่เสริมเอนไซม์ NSP-degrading enzymes ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ความสูงของวิลลัส ความลึกของคริปต์ และสัดส่วนของความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ของไก่เนื้อ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเจริญของเยื่อผิวของวิลลัสและคริปต์เป็นไปในอัตราส่วนที่สัมพันธ์กันและไม่พบความผิดปกติ โดยอาหารที่ใช้กากมันสำปะหลังที่ระดับ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อโครงสร้างของเยื่อบุผิวมิวโคซาของเยื่อบุลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม จากการวิเคราะห์หาค่าประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งและไม่รวมเซลลูโลสของกากมันสำปะหลัง ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (ดังแสดงในตารางที่ 10) พบว่า กากมันสำปะหลังมีส่วนของ NSP ที่ละลายน้ำน้อยกว่า NSP ที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการใส่กากมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่เนื้อสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อความหนืดข้นของสิ่งย่อยที่อยู่ในทางต่อทางเดินอาหาร จนกระทั่งมีผลต่อต่อลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในไก่เนื้อ การเสริม NSP-degrading enzymes เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดความหนืดข้นของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารจึงไม่ทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติของลักษณะของวิลลัสและคริปต์

ตารางที่ 27 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะทางกายวิภาคของลำไส้เล็ก
ส่วนเจริญัมของไก่เนื้อเมื่ออายุ 14 วัน

อิทธิพล	ความสูง ของวิลลัส (ไมโครเมตร)	ความลึก ของคริปต์ (ไมโครเมตร)	สัดส่วนของความสูง ของวิลลัสต่อความ ลึกของคริปต์
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	895.03	102.03	8.78
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	891.62	102.44	8.70
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	895.98	103.12	8.69
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	892.44	102.58	8.70
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	893.40	102.58	8.71
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	896.53	102.98	8.70
P-value	0.9447	0.8497	0.5331
อิทธิพลของปัจจัยหลัก			
ระดับเอนไซม์			
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	894.21	102.53	8.72
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	894.12	102.71	8.71
P-value	0.9867	0.7113	0.6541
ระดับกากมันสำปะหลัง			
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	893.74	102.30	8.74
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	892.51	102.51	8.71
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	896.25	103.05	8.70
P-value	0.8487	0.4360	0.5925
Pooled SE	51.57	4.65	0.34

ตารางที่ 28 ผลของระดับเอนไซม์และระดับกากมันสำปะหลัง ต่อลักษณะทางกายวิภาคของลำไ้
เล็กส่วนเจริญนมของไก่เนื้อเมื่ออายุ 28 วัน

อิทธิพล	ความสูง ของวิลลัส (ไมโครเมตร)	ความลึก ของครีปท์ (ไมโครเมตร)	สัดส่วนของความสูง ของวิลลัสต่อความ ลึกของครีปท์
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	895.71	101.35	8.85
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	896.12	101.62	8.84
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	896.53	101.22	8.87
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	895.57	100.81	8.90
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	896.53	101.76	8.83
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ (เสริมเอนไซม์ 200 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม)	895.57	101.90	8.80
P-value	0.9258	0.5291	0.547
ระดับเอนไซม์			
0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	896.12	101.40	8.85
200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	895.89	101.49	8.84
P-value	0.8736	0.8381	0.7742
ระดับกากมันสำปะหลัง			
กากมันสำปะหลัง 0 เปอร์เซ็นต์	895.64	101.08	8.88
กากมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์	896.32	101.69	8.83
กากมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์	896.05	101.56	8.84
P-value	0.9258	0.4971	0.6267
Pooled SE	13.51	4.21	0.39

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากผลการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลัง ต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีน การย่อยได้ของไขมัน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร แต่การเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหาร มีแนวโน้มที่จะทำให้พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารของไก่เนื้อเพิ่มสูงขึ้น ($P = 0.0595$)

2. จากผลการศึกษาไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างการใช้ NSP-degrading enzymes และระดับของกากมันสำปะหลัง ต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมของไก่เนื้อทุกช่วงอายุการทดลอง ลักษณะซาก และลักษณะทางกายวิภาคในลำไส้เล็กส่วนเจจุนัมของไก่เนื้อที่อายุ 14 และ 28 วัน

3. จากการทดลองครั้งนี้พบว่า การเสริม NSP-degrading enzymes ในอาหารไก่เนื้อช่วงอายุ 1-17 และ 39-45 วัน ทำให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง และน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อลดลงในช่วงอายุ 39-45 วัน ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณอาหารที่กินตลอดระยะการเลี้ยง

4. การใช้กากมันสำปะหลังสูงถึงระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในช่วงอายุ 18-38 และ 39-45 วัน แต่ไม่ควรใช้กากมันสำปะหลังในอาหารไก่เนื้อที่อายุ 1-17 วัน เพราะจะทำให้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ลดลงตลอดระยะการเลี้ยง

ข้อเสนอแนะ

1. กากมันสำปะหลังอาจพิจารณาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในสูตรอาหาร ในกรณีที่วัตถุดิบหลัก เช่น ข้าวโพด มีราคาแพง ทั้งนี้ควรพิจารณาถึงราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ณ เวลานั้นๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้สูตรอาหารด้วย

2. ก่อนการใช้ NSP-degrading enzymes เสริมในอาหาร ควรมีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณของ NSP ในสูตรอาหารเพื่อจะได้เลือกเสริมชนิดและระดับของเอนไซม์ที่เหมาะสมที่จะเสริมลงในอาหาร

เอกสารอ้างอิงและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2550. การผลิตไก่เนื้อ. ปริมาณมูลค่าการส่งออก. แหล่งที่มา:

<http://www.dld.go.th/doc/imex49tt.html>, 20 พฤศจิกายน 2550.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2522. อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. รายงานสถานภาพการกำจัดและใช้ประโยชน์น้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ ฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

_____ และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. 2542. การขออนุญาตและขอขึ้นทะเบียนอาหารสัตว์ฉบับผู้ประกอบการธุรกิจอาหารสัตว์และพนักงานเจ้าหน้าที่. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ ฯ.

เกล็ดแก้ว คำนวณวิวัฒน์. 2543. พื้นฐานกายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์. คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

เกศสุชา พูลคำ. 2536. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และ อัจฉรา ลิ่มศิลา. 2547. มันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ ฯ.

เจริญศักดิ์ ไรจนฤทธิพิเชษฐ์. 2532. มันสำปะหลัง: การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ชูพงษ์ ศรีวัฒนวรชัย และอุทัย คันโธ. 2532. การใช้ใบกระถินแช่น้ำร่วมกับข้าวฟ่างหรือมันเส้น เป็นอาหารไก่กระตัง, น. 41-48. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 27 (สาขาสัตว สัตว แพทย์ ประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

दनัย สุภาพาร. 2537. พฤษศาสตรและพันธุศาสตรมันสำปะหลัง, น. 14-30. ใน เอกสารวิชาการ มันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล. 2543. อาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทอดศักดิ์ คำเหม็ง, ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์, อุษณียกรณ์ สร้อยเพชร, บุญมี ดีด้วยใจ และ ยุภาวรรณ ศรีสุขช่วง. 2550. การใช้เศษเหลือจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังและกรดซิตริก ต่อสมรรถภาพการผลิตเป็ดเทศ, น. 67-74. ใน การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 3. วันที่ 23 มกราคม 2550 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นวลจันทร์ พารักษา และ สิ้นชัย พารักษา. 2544. อาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

นิติ เดิมเวชชานนท์. 2543. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธี Ball-mill และศึกษาสมบัติของ แป้งดัดแปร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2546. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.

ประวิทย์ สุนทรสีมะ. 2526. กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์. ภาควิชาสุขศึกษา คณะพล ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2535. เอนไซม์ทางอาหารตอนที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปรีดา คำศรี, ยวเรศ เรืองพานิช, เสกสม อาตมางกูร, อรประพันธ์ ส่งเสริม และ ณัฐชนก อมรเทวภัทร.

2552. ผลของระดับกากมันสำปะหลังและรูปแบบอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ, น. 132-140. ใน **เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 47 (สาขาสัตว์)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยา บุรณศิริ. 2525. **การย่อยและการดูดซึมอาหาร**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ผกาพรรณ สุกุลมัน และปรีชา อินนุรักษ์. 2545ก. การใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักเสริมด้วยอาหารโปรตีนเลี้ยงโคและกระบือ, น. 158-166. ใน **รายงานผลการดำเนินงานโครงการส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2545**. ศูนย์คั่นคว่ำและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ ศูนย์คั่นคว่ำและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาลกกลกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, นครปฐม.

_____ และ _____. 2545ข. การเสริมกากแป้งมันหมักและกากปาล์มเลี้ยงกระบือ, น. 154 – 157. ใน **รายงานผลการดำเนินงาน โครงการส่งเสริมการใช้ไบมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2545**. ศูนย์คั่นคว่ำและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตโคและกระบือ สถาบันสุวรรณวาลกกลกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

พรรณทิพย์ พูลไพโรจน์. 2539. ชนิดของเอนไซม์เพคตินเอสจากเชื้อรา *Rhizopus* sp. 26R และประสิทธิภาพการย่อยกากมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พริ้มเพรา ผลเจริญสุข. 2522. **กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์**. คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

พวงเพชร นรินทรพร. 2547. มันสำปะหลัง. **เอกสารวิชาการ**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พพร ตันตระกูล, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และวิไล สันติโสภาสรี. 2546. การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดเป็นอาหารสุกรระยะรุ่นและระยะขุนทั้งมีการเสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะ, น. 323-330. ใน **เรื่องเติมการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 (สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพรัตน์ แซ่ซิ้ม, อุทัย คันโธ และเนรมิต สุขมณี. 2534. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารแม่อุ้มท้องและเลี้ยงลูก, น. 101-110. ใน **เรื่องเติมการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์. 2552. **โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของระบบทางเดินอาหาร**. บทเรียนช่วยสอนทางอินเทอร์เน็ต ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. แหล่งที่มา: <http://www.vet.chula.ac.th/~physio/Gi/c1p1.html>, 20 มีนาคม 2552.

มนตรี จุฬาวัฒนพล. 2541. **ชีวะเคมี**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

เลอลักษณ์ จิตรดอน. 2544. เอนไซม์ย่อย pectin. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเอนไซม์จากจุลินทรีย์**. ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราพันธ์ จิตนิวิษฐ์, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และปฐมาธิกา หะรินสุต. 2547. ผลการใช้มันสำปะหลังทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อเป็ด และจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของเป็ดเนื้อ, น. 33-40. ใน **เรื่องเติมการประชุมวิชาการครั้งที่ 42 (สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วริยา โกสุม, นาริรัตน์ เจริญวัฒนสกุล, ยุวเรศ เรืองพานิช, สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และ เสกสม อาตมางกูร. 2552. คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของกากมันสำปะหลัง, น. 117-124. ใน **เรื่องเติมการประชุมวิชาการครั้งที่ 47 (สาขาสัตว์)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิโรจน์ จันทรัตน์. 2537. **กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์ปีก**. ภาควิชาเทคโนโลยีของสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง. 2537. มันสำปะหลัง. เอกสารทางวิชาการสถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการ เกษตร, กรุงเทพฯ.

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. 2540. รายงานการสำรวจน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โครงการไทยเบลเยียม, น. 71-85. ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ เรื่องเทคโนโลยีกับการพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง วันที่ 30-31 กรกฎาคม 2540. ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติและมูลนิธิพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สมิต ยัมมงคล, อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2546. ผลการใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นอาหารผสมเสร็จ (TMR) สำหรับโคเนื้อ, น. 209-214. ใน รายงานผลการดำเนินงานโครงการร่วมส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2546. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์และศูนย์วิจัยและพัฒนากาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สร้อยพันธ์ สว่างคำ. 2549. ผลของการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อระบบภูมิคุ้มกันในไก่กระທ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

_____ และเขาวมาลย์ คำเจริญ. 2529. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์, น. 64-72. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 24 (สาขาสัตว์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และ _____. 2531. การใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกร เป็ด และไก่. ชุมชนสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกร จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร. 2552. มันสำปะหลัง. สถานการณ์และมาตรการมันสำปะหลัง. กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. กรุงเทพฯ.

สุกัญญา ทิมทอง. 2546. ผลของกากมันสำปะหลังในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพซากของสุกรรุ่น-ขุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุภารัตน์ สุภาพ, อุทัย คັນโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. ผลการใช้กากถั่วเหลืองกะเทาะเปลือกในสูตรอาหารลูกสุกรระยะหย่านมที่ใช้ปลายข้าวและมันสำปะหลังเป็นหลัก, น.228-234. ใน เรื่องเติมการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 42 (สาขาสัตว สัตวแพทยศาสตร์ ประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนทรานี ทองใหญ่. 2538. สรีรวิทยาของระบบย่อยอาหารในสัตว์. เอกสารประกอบการเรียน 506311. ภาควิชาสัตววิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนัย โชตินิรนาถ. 2539. การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์และอัลตราฟิลเทรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวรรณ พรหมทอง และ อุทัย คັນโธ. 2545. ผลของการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่กระต๊อต่อสภาวะการย่อยอาหารและสิ่งย่อยในทางเดินอาหารที่ส่งผลถึงสุขภาพของไก่, ใน รายงานผลการดำเนินงานโครงการส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทย ปี 2545. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาลกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, นครปฐม.

สุวรรณ แสนทวีสุข. 2543. การใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่และไก่กระต๊อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสริมศักดิ์ มานะเลิศสกุล. 2546. การผลิตอาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังและกากน้ำตาลโดยการหมักแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวนิตย์ คูประเสริฐ. 2527. อาหารสัตว์เบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.

โสภณ สีนุประมา. 2526. มันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการเล่มที่ 7. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

- _____ และ สุกัญญา จิตตพรพงษ์. 2547. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวากกกลกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- _____, _____ และ ไพฑูรย์ มุลจิตร. 2548. การใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นอาหารแม่สุกรอู้มท้องและเลี้ยงลูก, น. 53-58. ใน เรื่องเติมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (สาขาสัตว์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____, _____ และ วราพันธุ์ จินตณวิชัย. 2550. สูตรอาหารมันสำปะหลังสำหรับ สุกร สัตว์ปีก โคเนื้อ ไก่ และปลา. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวากกกลกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- Alais, C. and G. Linden. 1991. **Food Biochemistry**. Ellis Harwood. New York.
- Annisson, G. and M. Choct. 1991. Anti-Nutritive activities of cereal NSP in broiler diets and strategies minimising their effects. **World Poult. Sci. J.** 47: 232-242.
- Beguin, P. and J. P. Aubert. 1994. The biological Degradation of Cellulose. **FEM Microbiol. Rev.** 13: 25-58.
- Beynum, G. M. A. van and J. A. Roels. 1985. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Bolhuis, C.G. 1954. The toxicity of cassava roots. **Netherland J. Agric. Sci.** 2: 176-185.
- 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.
- Brunsgaard, G. 1998. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **J. Anim. Sci.** 76: 2787-2798

- Chesson, A. 1993. Feed enzymes. **Anim. Feed Sci. Technol.** 45: 65-79.
- Choct, M. and G. Annison. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Roles of viscosity and microflora. **Br. Poult. Sci.** 33: 821-834.
- _____ and A. Kocker. 2002. **Non starch polysaccharide: digestion and secondary effect in monogastrics.** Non starch polysaccharide. Available Source: <http://www.psa.uiuc.edu/toc/abs/01/mar01ab30>, November 3, 2005.
- _____, R. J. Hughes and M. R. Bedford. 1999. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat. **Br. Poult. Sci.** 40: 419–422.
- Garipoglu, A. V., B. Z. Saricicek and U. Kilic. 2006. Effect of the commercial enzyme supplementation to the rations on broiler performance. **Asian J. Anim. Vet. Adv.** 1 (1): 42-48.
- Gerand, A. W., R. H. Ronar and R. H. Denis. 1993. Enzyme in the animal-feed industry. **Trends in Biotechnol.** 11: 424-430.
- Grace, M. R. 1977. **Cassava processing.** Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome.
- Herring, A. M., J. T. McKinnon, K. W. Gneshin, R. Pavelka, D. E. Patrick, B. D. McCloskey, J. Filley. 2004. Detection of reactive intermediates from and characterization of biomasschar by laser pyrolysis molecular beam mass spectroscopy. **Fuel** 83: 1483–1494.
- Iji, P. A., R. J. Hughes, M. Choct and D. R. Tivey. 2001. Intestinal structure and function of broiler chickens on wheat-based diets supplemented with a microbial enzyme. **Asian Aust. J. Anim. Sci.** 14: 54-60.

- Jacobasch, G., D. Schnried., M. Kruschewski and K. Schmehl. 1999. Dietary resistant starch and chronic inflammatory bowel diseases. **Int J. Colorectal Dis.** 14: 201-211.
- Kanto, U. and S. Juttupornpong. 2005. **Cassava in Animal Nutrition: With Reference to Thailand Cassava.** Animal Nutrition Research and Development Center, Kasetsart University, Kampaengsaen, Nakhon Pathom, Thailand.
- Kerr, J. B. 1999. **Atlas of Functional Histology.** Mosby, London.
- Kochoer, A., M. Choct, M. D. Porter and J. Broz, 2000. The effects of enzyme addition to broiler diet containing high concentrations of canola or sunflower meal. **Poult. Sci.** 70: 1767-1774.
- Langhout, P. 2000. New additives for broiler chickens. **Feed Mix.** Special 24-27.
- Mackenna, B. R. and R. Callander. 1997. **Illustrated Physiology.** Churchill Livingstone. New York.
- Marsman, G. J. P., H. Gruppen, A. F. B. Van Der Poel, R. P. Kawakke, M. W. A. Verstegen and A. G. J. Vorgen. 1997. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks. **Poult. Sci.** 76: 864–872.
- Mathlouthi, N., J. P. Lalles, P. Lepereq, C. Juste and M. Larbier. 2002. Xylanase and beta-glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diets. **J. Anim. Sci.** 80: 2778-2779
- Meng, X. and B. A. Slominski. 2005. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. **Poult. Sci.** 84: 1242–1251.

- National Research Council (NRC). 1994. **Nutrient Requirements of Poultry**. 9th ed. National Acedamy Press, Washington, DC.
- 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.
- Olson, D.W., M.L. Sunde and H.R. Bird. 1969. The metabolizable energy content and feeding value of manioc meal in diets for chicks. **Poult. Sci**. 48: 1445-1452.
- Pilinik, W. and A. G. J. Voragen. 1991. The Significance of endogenous and exogenous pectic enzyme in fruit and vegetable processing, pp. 303-336. *In* P. E. Fox, ed. **Food Enzymology**. Elseviar Science Publisher, Amsterdam.
- Ronald, R. M. 2004. Enzyme enhancement of the nutrition value of cereals: role of viscous, water-soluble, non starch polysaccharides in chick performance. **Enzyme in Poultry and Swine Nutrition**. Available Source: http://www.idrc.ca/en/ev-30915-201-1-DO_TOPIC.html, May 10, 2008.
- Rotter , B. A., O. D. Friesen, W. Guenter and R. R. Marquardt. 1990. Influence of enzymes supplementation on the bioavailable energy of barley. **Poult. Sci**. 69: 1174-1181.
- Saleh, F., A. Ohtsuka and K. Hayashi. 2005. Effect of dietary enzymes on the ileal digestibility and abdominal fat concent in broiler. **J. Anim. Sci**. 76: 475-478.
- Torresi, D. M., A. S. Teixeira, P. B. Rodrigues, A. G. Bertchini, R. T. F. Freitas and E. C. D. Santos. 2003. The efficiency of amylase, protease and xylanase on broiler chicken performance. **Cience Arrotec**. 27: 1401-1408.

- Vivero, A., A. Brenes, M. Pizarro and M. Gastano, 1994. Effect of enzyme supplementation of a diet based on barley and autoclave treatment, on apparent digestibility, growth performance and gut morphology of broilers. **Anim. Feed Sci. Technol.** 48: 237-251.
- Voel, D. and J. G. Voel. 1995. **Biochemistry**. 2nd ed. University of Pennsylvania and Swarthmore College, New York.
- Wang, Z. R., S. Y. Qiao, W. Q. Lu and D. F. Li. 2005. Effect of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broiler fed wheat-based diets. **Poult. Sci.** 84: 875-881.
- Wood, T. M. and K. M. Bhat. 1988. Methods for measuring cellulase activities, pp. 87-112. *In* W. A. Wood and S. T. Kellogg, eds. **Methods in Enzymology**. Academic Press, London.
- Wu, Y. B. and V. Ravindran. 2004. Influence of whole wheat inclusion and xylanase supplementation on the performance, digestive tract measurements and carcass characteristics of broiler chickens. **Anim. Feed Sci. Technol.** 116: 129-139.
- _____, _____, D. G. Thomas, M. J. Birtles and W. H. Hendriks. 2004. Influence of method of whole wheat inclusion and xylanase supplementation on the performance, apparent metabolizable energy, digestive tract measurements and gut morphology of broiler. **Br. Poult. Sci.** 45: 385-394.
- Yaghobfar, A., F. Boldaji and S. D. Shrif. 2007. Effect of enzyme supplement on nutrient digestibility, metabolizable energy, egg production, egg quality and intestinal morphology of the broiler chicks and layer hens fed hull-less barley based diets. **Pak. J. Biol. Sci.** 10 (14): 2257-2266.
- Yaras, S. and M. Forbes. 2000. Enzyme supplementation of dry and wet wheat-based feeds for broiler chicken: performance of broiler. **Anim. Feed Sci. Technol.** 70: 353-361.

- Yu, B., H. Jenn-Chung and P. W. S. Chiou. 1998. Effect of beta glucanase supplementation of barley diet on growth performance of broiler. **Anim. Feed Sci. Technol.** 70: 353-361.
- Zubair, A. K. and S. Leeson. 1994. Effect of early feed restriction and realimentation on heat production and changes in sizes of digestive organs of male broilers. **Poult. Sci.** 73: 529-538.

ภาคผนวก

วิธีการวิเคราะห์หาโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและมูล (Bolin *et al.*, 1952)

อุปกรณ์

1. เตาหย่อย (Kjeldahl apparatus)
2. เจาน้ำพลาสติก (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. สารโซเดียมโมลิบเดต (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)

ซังโซเดียมโมลิบเดต (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 ทั้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

- ชั่งตัวอย่างใส่เจตาห์ฟลาสขนาด 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 นิดล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

3. ขั้นตอนการกรอง

- กรองสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้วด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

4. ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสง

- นำสารละลายที่กรองแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank ให้เป็นศูนย์ด้วยการ set auto zero

5. ขั้นตอนการคำนวณ

จากวิธีการดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในตัวอย่างอาหาร และมูลค่าได้จากการทดลองโดยใช้สมการนี้

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

โดยที่

A	=	ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้
mlAl	=	ปริมาตรของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนปรับปริมาตร
W	=	น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ย่อย
EF	=	(ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครมิกซ์ออกไซด์ระดับต่างๆ ได้จากการทำ standard curve) / ค่าการดูดกลืน

หมายเหตุ: ค่า EF โดยปกติมีค่า 389-400 มิลลิกรัมต่อลิตร

การวิเคราะห์แป้ง

การทำ blank

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ ประมาณครึ่ง flask เขย่าแรงๆ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
3. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
4. นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
5. ไปเปิดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เติม HCl 25 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ
7. นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 15 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็นให้ตัวอย่างเย็น ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

8. เติม sodium phosphotungstate 4 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร

9. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันและกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำส่วนใส มาวัดค่า α

การย่อยตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ flask 100 มิลลิลิตร
2. เติม HCl 1.128 เปอร์เซนต์ 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ และเติม HCl 1.128 เปอร์เซนต์ อีก 25 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ
3. นำไปต้มในน้ำเดือด 15 นาที (ทำเหมือนขั้นตอนที่ต้ม Blank ทุกประการ)
4. นำส่วนใสมาวัดค่า α

การคำนวณ

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

โดยที่

α	=	ค่าที่วัดได้จากตัวอย่าง
α'	=	ค่าที่วัดได้จาก Blank
$[\alpha] D 20^\circ$	=	184.0 (ใช้ค่าทั่วไป)
L	=	ความยาวหลอดวัด (dm.)

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

การเตรียมสไลด์เนื้อเยื่อเพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคในลำไส้ของไก่เนื้อ

เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อทางเดินอาหารในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม (เก็บตรงกึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง bile duct กับ Meckel's diverticulum) มาตัดขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น แล้วทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อแช่ใน 10% buffered formalin เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำชิ้นเนื้อที่ผ่านการแช่น้ำยา 10% buffered formalin เป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง มาผ่านกระบวนการ tissue processing ซึ่งประกอบไปด้วยการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ (dehydration) การกำจัดสารที่ใช้ดึงน้ำออก (clearing) และการทำให้มีตัวด้วย paraffin (impregnation)
3. นำชิ้นเนื้อจากข้อ 2 มาฝังใน paraffin 3-5 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้เย็น จะได้ชิ้นเนื้อใน paraffin block เรียกกระบวนการนี้ว่า embedding
4. นำ paraffin block มาตัดด้วยเครื่อง microtome ให้เป็นแผ่นบาง 4 ไมครอน วางบนแผ่นสไลด์แก้วที่เคลือบด้วย 2% 3-aminopropyl triethoxy silane
5. เก็บสไลด์ที่ได้ในตู้อบ 37 องศาเซลเซียส นานอย่างน้อย 1 วัน หรือ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
6. นำสไลด์แช่ใน xylene 3 ครั้งๆ ละ 2 นาที เพื่อละลาย paraffin ออกจากเนื้อเยื่อ
7. นำสไลด์แช่ใน ethanol 100% จำนวน 3 ครั้ง 95% จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที เพื่อเป็นการ rehydration
8. นำสไลด์ไปผ่านน้ำก๊อกไหลนาน 5 นาที
9. นำสไลด์มาเป่าให้แห้งด้วยลมเย็นแล้วเขียนวงรอบแผ่นเนื้อเยื่อบนสไลด์ด้วยปากกา hydrophobic marker เพื่อสร้างวงกันไม่ให้ น้ำยาที่จะหยดลงบนแผ่นเนื้อเยื่อไหลออก

วิธีการย้อมสไลด์

1. Peroxide block
 - เช็ดน้ำรอบๆ ตัวอย่างเนื้อเยื่อให้หมด จากนั้นหยด 3% hydrogen peroxide ให้ท่วมตัวอย่าง
 - Incubate ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

- หลังจาก incubate เสร็จ เท hydrogen peroxide ออก นำสไลด์ไปแช่ใน staining jars ที่มีน้ำกลั่นหรือ wash solution 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที

2. Primary antibody และ Negative control reagent

- เช็ดน้ำรอบๆ ตัวอย่างเนื้อเยื่อให้หมด จากนั้นหยด primary antibody ให้ท่วมตัวอย่าง

- Incubate ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

- หลังจาก incubate เสร็จ เท primary antibody ออก นำสไลด์ไปแช่ใน staining jars ที่มี wash solution 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที

3. Link

- เช็ดน้ำรอบๆ ตัวอย่างเนื้อเยื่อให้หมด จากนั้นหยด biotinylated link ให้ท่วมตัวอย่าง

- Incubate ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 นาที

- หลังจาก incubate เสร็จ เท biotinylated link ออก นำสไลด์ไปแช่ใน staining jars ที่มี wash solution 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที

4. Streptavidin peroxidase

- เช็ดน้ำรอบๆ ตัวอย่างเนื้อเยื่อให้หมด จากนั้นหยด streptavidin-HRP ให้ท่วมตัวอย่าง

- Incubate ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-30 นาที

- หลังจาก incubate เสร็จ เท streptavidin-HRP ออก นำสไลด์ไปแช่ใน staining jars ที่มี wash solution 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที

5. Substrate-chromogen solution

- เช็ดน้ำรอบๆ ตัวอย่างเนื้อเยื่อให้หมด จากนั้นหยด substrate-chromogen solution ที่เตรียมไว้ให้ท่วมตัวอย่าง

- Incubate ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5-10 นาที

- นำสไลด์ไปล้างใน staining jars ที่มีน้ำกลั่น ถ้ามีสีน้ำตาลเข้มเกินไปก่อนครบเวลาให้หยุดปฏิกิริยาโดยการนำไปแช่ในน้ำกลั่น

6. Counterstain

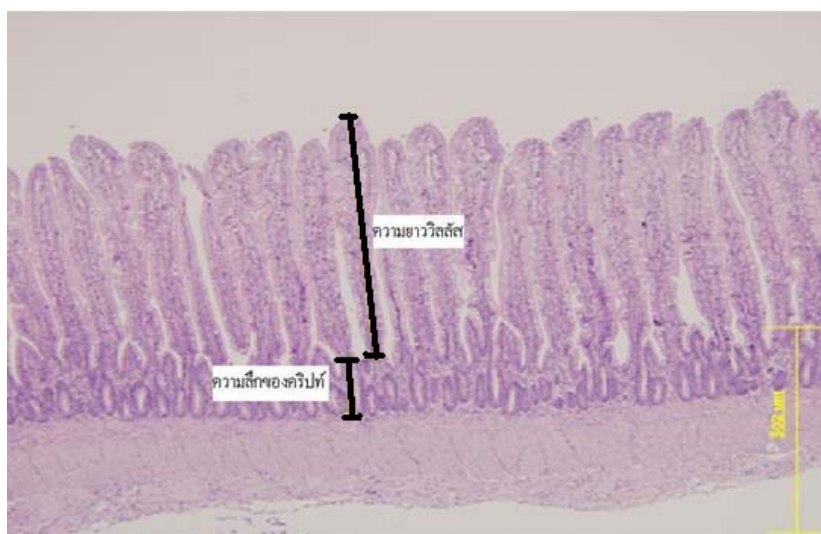
- นำสไลด์เนื้อเยื่อไปแช่ใน hematoxylin 2-5 นาที ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้
- นำสไลด์ไปล้างด้วยน้ำกลั่น 10 วินาที
- นำสไลด์ไปแช่ใน 95% ethanol 3 ครั้งๆ ละ 1 นาที
- นำสไลด์ไปแช่ใน 100% ethanol 3 ครั้งๆ ละ 1 นาที
- นำสไลด์ไปแช่ใน xylene 3 ครั้งๆ ละ 1 นาที

7. Mounting

- นำสไลด์มาหยด mounting medium 1-2 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์และนำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

การตรวจลักษณะของเนื้อเยื่อทางกายวิภาคในลำไส้ของไก่เนื้อ

หลังจากการเตรียมสไลด์เนื้อเยื่อ นำสไลด์นั้นมาจากตรวจผลด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยความสูงของวิลลัส (วัดจาก brush-border membrane ถึง basolateral membrane) และความลึกของคริปต์ (วัดจากฐานของคริปต์ที่ basement membrane ถึงปาก basement membrane) และคำนวณสัดส่วนของความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ โดยจะสุ่มวัดจากวิลลัสและคริปต์จำนวน 10 วิลลัสต่อ 1 สไลด์เนื้อเยื่อ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย objective 10x ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 ความสูงของวิลลัสและความลึกของคริปต์ของลำไส้เล็กส่วนเจจุนัมของไก่เนื้อ

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง 45 วัน

ช่วงเวลา	07:00 น.		12:00 น.		15:00 น.	
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
วันที่						
1	28	78	28	78	28	78
2	28	78	28	78	30	66
3	28	78	28	78	26	77
4	28	78	28	78	30	72
5	28	78	28	78	28	78
6	28	71	28	71	30	66
7	28	78	28	78	28	78
8	27	77	30	72	30	66
9	28	71	30	72	30	66
10	26	77	30	72	30	66
11	26	77	30	72	32	68
12	26	77	26	70	26	77
13	26	70	28	71	30	66
14	26	77	30	72	30	72
15	25	77	28	78	28	78
16	25	77	28	78	28	78
17	27	77	28	78	28	78
18	27	77	28	78	28	78
19	26	77	28	78	30	72
20	25	77	26	77	28	78
21	25	77	28	78	28	78
22	25	77	28	78	28	78
23	27	78	28	78	28	78
24	24	77	28	71	28	78
25	26	77	30	79	28	78

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ช่วงเวลา	07:00 น.		12:00 น.		15:00 น.	
วันที่	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
26	27	77	28	78	28	78
27	27	77	28	71	28	78
28	26	77	28	78	28	78
29	26	77	28	78	28	78
30	27	77	28	78	28	78
31	27	77	28	78	28	78
32	27	77	28	78	28	78
33	26	77	28	78	28	78
34	27	77	28	78	28	78
35	28	78	28	78	28	78
36	26	77	28	78	28	78
37	26	77	28	78	28	78
38	26	77	28	78	28	78
39	26	77	28	78	28	78
40	28	78	28	78	28	78
41	26	77	28	78	28	78
42	27	77	28	78	28	78
43	26	77	28	78	28	78
44	26	77	28	78	28	78
45	25	76	28	78	28	78

ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธิดาพร สุดยิ่ง
เกิดวันที่	28 ตุลาคม 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี (พ.ศ. 2546) วท.บ. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต) มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี (พ.ศ. 2550)