



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อ
สมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกรหย่านม

Effects of Complex Enzymes Supplementation in Cassava Diets on Growth Performance
and Nutrient Digestibility in Weaned Pigs

นามผู้วิจัย นายภาคภูมิ สุขโพธิ์เพชร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อุทัย คันโช, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุกัญญา จัตตพรพงษ์, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ
ต่อสมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกรหย่านม

Effects of Complex Enzymes Supplementation in Cassava Diets on Growth Performance
and Nutrient Digestibility in Weaned Pigs

โดย

นายภาคภูมิ สุขโพธิ์เพชร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

ภาคภูมิ สุขโพธิ์พีช 2552: ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อสมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกรหย่านม ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ, วท.ม. 84 หน้า

การศึกษาถึงผลจากการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมซึ่งประกอบด้วย NSPase , phytase , amylase และ protease ลงในอาหารสุกรมันสำปะหลังและกากถั่วเหลืองต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม โดยใช้สุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (ลาร์จไวท์xแลนดร์xคูรอก) หย่านมที่อายุ 28 วัน จำนวน 100 ตัว แบ่งลูกสุกรออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 5 ตัว สุ่มลูกสุกรแต่ละกลุ่มให้กินอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 28 วัน อาหารทดลองได้แก่; T1: สูตรอาหารควบคุมเชิงบวก ที่มีคุณค่าทางโภชนะครบตามความต้องการของสุกร, T2: สูตรควบคุมเชิงบวกที่เสริมเอนไซม์ชนิดรวม 0.2 กก./ตัน, T3: สูตรอาหารควบคุมเชิงลบที่มีระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้, แคลเซียม และ ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุมเชิงบวก 75 กิโลแคลอรี/กก., 0.1 % และ 0.1 % ตามลำดับ และ T4: สูตรอาหารควบคุมเชิงลบที่เสริมเอนไซม์ชนิดรวม 0.2 กก./ตัน พบว่า สุกรในกลุ่ม T2 มี FCR ดีกว่ากลุ่ม T1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าสุกรในกลุ่ม T4 และ T1 มีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ลูกสุกรในกลุ่ม T4 มี FCR ดีกว่ากลุ่ม T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีสุกรตายตลอดการทดลอง ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารลูกสุกรหย่านมทั้งในสูตรอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนะตามปกติและสูตรอาหารที่มีโภชนะต่ำกว่าความต้องการ จึงสามารถปรับปรุงให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านมดีขึ้น ในขณะที่การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมไม่ส่งผลต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรด-เบสในทางเดินอาหาร และปริมาณของกรดไขมันระเหยง่าย รวมถึงลักษณะทางจุลกายวิภาคภายในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านม ($P > 0.05$) แต่พบว่าการเสริมเอนไซม์เหล่านี้สามารถทำให้ลูกสุกรหย่านมในกลุ่ม T2 มีค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุทวารของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังทำให้ลูกสุกรหย่านมในกลุ่ม T2 และ T4 มีค่าการย่อยได้ที่สุทวารของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นอีกด้วย ($P < 0.05$) จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมทางการค้ำลงในอาหารที่มีมันสำปะหลังและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบสามารถปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต และการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกรหย่านมได้

Parkpoom Sukpopet 2009: Effects of Complex Enzymes Supplementation in Cassava Diets on Growth Performance and Nutrient Digestibility in Weaned Pigs. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Uthai Kanto, M.S. 84 pages.

The effects of complex enzymes composed of NSPase phytase amylase and protease supplementation in high cassava-soybean meal diets were studied by using 100 crossbred (LWxLRxD) pigs weaned at 28 days old. The animals were divided into 4 groups of 25 animals each which was further divided into 5 subgroups of 5 animals each. Each group of the animals was randomly fed 1 of 4 experimental diets as follows until 56 days of age; T1: Positive control cassava-soybean meal diet containing all nutrients according to standard nutrient requirement, T2: T1 but supplemented with the complex enzymes at 0.2 kg/ton feed, T3: Negative control diet which contained 75 kcal/kg, 0.1 % and 0.1 % less ME, Ca and available P than T1, respectively, and T4: T3 but supplemented with the complex enzymes at 0.2 kg/ton feed. Results of the study showed that pigs on T2 were higher final weight, ADFI and ADG but the differences were not significant ($P>0.05$). However, pigs on T2 had significantly better FCR ($P<0.05$) than those on T1. The differences of growth performance between pigs on T4 and T1 were not statistically different ($P>0.05$) but pigs on T4 had significantly better FCR ($P<0.05$) than those on T3. There was no significant difference in mortality rate of pigs among the treatment groups. Thus, the complex enzymes supplementation demonstrated an improvement on growth performance of weaned pigs in high cassava and soybean meal diets. However, there were no statistical differences ($P>0.05$) in microbial population, pH-value in digestive tract, volatile fatty acid level and gut morphology among the pigs fed experimental diets, whereas there were improvements of ileal and total tract digestibility of dry matter ($P<0.05$) when enzymes were supplemented to pigs in T2 group. Furthermore, when enzymes were supplemented to pigs in T2 and T4 group, an improvement on total tract digestibility of organic matter were detected ($P<0.05$). The results indicated that supplementation of the complex enzymes in cassava and soybean meal diets could improved growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อุทัย คัน โธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ในด้านการทดลอง เรียบเรียง ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สินชัย พารักษา รองศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. ทวีศักดิ์ ส่งเสริม และดร. ยูวเรศ เรืองพานิช ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ALLTECH, INC. ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านงบประมาณ ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณบุญส่ง แซ่ลิ้ม ที่ให้ความเอื้อเฟื้อฟาร์มสุกรเพื่อทำการวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการ ภาควิชาสัตวบาล เจ้าหน้าที่ภาควิชาเวชศาสตร์สัตว์เศรษฐกิจ คณะสัตวแพทยศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐมทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน และพี่น้องนิสิตทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมา โดยตลอด

โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนการศึกษาและ ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ภาคภูมิ สุขโพธิ์เพชร

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	78
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางโภชนาต่างๆ ในมันสำปะหลังและวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ	5
2	สูตรอาหารและองค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองในสุกรระยะหย่านม	33
3	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารลูกสุกรหย่านม	44
4	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและการย่อยได้ที่สุดทวารของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุของลูกสุกรหย่านม	45
5	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม	47
6	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในสิ่งย่อยที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม	50
7	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อค่าความเป็นกรด-เบสของสิ่งย่อยในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม	52
8	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้นทั้ง 3 ชนิด (ppm) ในลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม	54
9	ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคภายในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านม	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การสลายตัวของ linamarin และ lotaustralin	7
2	โครงสร้างของ cellulose	17
3	โครงสร้างของ hemicellulose	18
4	โครงสร้างของ xylan	18
5	โครงสร้างของ lignin-polysaccharide matrix	19
6	โครงสร้างของ pectin	20
7	กิจกรรมของ cellulase	24
8	กิจกรรมของ xylanase	27
9	กิจกรรมของ pectinase	28

**ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ
ต่อสมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ของโภชนะในลูกสุกรหย่านม**

**Effects of Complex Enzymes Supplementation in Cassava Diets
on Growth Performance and Nutrient Digestibility in Weaned Pigs**

คำนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบที่เป็นแหล่งพลังงาน จึงเป็นเหตุให้วัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาเพิ่มขึ้น การใช้วัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกลงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำมันเส้นมาใช้ทดแทนข้าวโพดหรือ ปลายข้าวซึ่งมีราคาแพงกว่า ข้อดีในการใช้มันเส้นเป็นอาหารสัตว์มีอยู่หลายประการ กล่าวคือ แป้งในมันเส้นเป็นแป้งอ่อนที่ย่อยง่าย มันเส้นมีการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา น้อยมาก (Scudamore *et al.*, 1997) เมื่อใช้มันเส้นแทนข้าวโพดและปลายข้าวในอาหารสัตว์ทั้งใน โค ไก่ กระบือ ไก่ไข่ และสุกร ปรากฏว่าประสิทธิภาพการผลิตไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้มันเส้นยังทำให้สัตว์มีสุขภาพดี ทำให้การใช้ยาปฏิชีวนะในฟาร์มลดลง และทำให้สัตว์มีอัตราการตายต่ำลงอีกด้วย (อุทัย และสุกัญญา, 2547) แต่เนื่องจากมันเส้นมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในระดับต่ำ ดังนั้นเมื่อใช้มันเส้นเป็นส่วนประกอบของอาหารจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น แต่พบว่ากากถั่วเหลืองมี non-starch polysaccharides (NSPs) และ phytate ซึ่งทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในทางเดินอาหารของสัตว์ลดต่ำลง

เมื่ออาหารมี NSPs และ phytate เป็นองค์ประกอบอยู่มาก สัตว์จะมีแนวโน้มที่จะย่อยอาหารได้ลดลง แต่อาจลดปัญหาดังกล่าวได้โดยการเสริมเอนไซม์ชนิดรวม (Allzyme SSF) ลงในอาหาร เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่มี NSPase และ phytase เป็นส่วนประกอบ เอนไซม์เหล่านี้สามารถทำให้การย่อยได้ของ NSPs และ phytate ในอาหารเพิ่มมากขึ้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าผลจากการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารลูกสุกรหย่านมจะสามารถลดผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวได้ การศึกษานี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่มีมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบพลังงานหลักต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ของโภชนะ ลักษณะทางสรีรวิทยา และประชากรจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้อธิบายถึงผลการใช้เอนไซม์ในอาหารลูกสุกรหย่านมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม
2. เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และที่ก่อโรคในทางเดินอาหารลูกสุกรหย่านม
3. เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคของทางเดินอาหารลูกสุกรหย่านม
4. เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุ ในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม

การตรวจเอกสาร

มันสำปะหลัง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มันสำปะหลังมีชื่อสามัญหรือชื่อที่เรียกกันทั่วไปเป็นภาษาอังกฤษว่า cassava หรือ tapioca ในปัจจุบันนิยมใช้ชื่อ cassava นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ประเทศในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้เรียกมันสำปะหลังว่า yuca ส่วนประเทศบราซิลและอาร์เจนตินาเรียกว่า mandioca แต่ประเทศในทวีปแอฟริกาเรียกว่า manioc (เจริณูศักดิ์, 2532) มันสำปะหลังที่ปลูกกันเป็นการค้าในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. มันสำปะหลังได้รับการจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน ไว้ดังนี้ (Lancaster *et al.*, 1982)

Sub-division: Agiospermae

Class: Dicotyledonae

Sub-class: Archichlamydeae

Order: Geraniales

Family: Euphorbiaceae

Genus: Manihot

Species: Esculenta

Tribe: Manihoteae

การเพาะปลูก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในเขตร้อนหรือเขตอบอุ่น เจริญได้ในเขตที่มีแร่ธาตุต่ำและฝนตกน้อย ปลูกได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย การเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมในการปลูก ควรคำนึงถึงพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเก็บเกี่ยวผลผลิต (กรมวิชาการเกษตร, 2526) มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มเนื้ออ่อนที่มีอายุอยู่ได้หลายปี (shrubby perennial crop) สามารถมีลำต้นสูงได้ถึง 4 เมตร มันสำปะหลังเป็นพืชที่เหมาะสมกับเขต tropical ไม่สามารถเจริญได้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10°C โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 29°C ส่วนปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมคือ 100-

150 เซนติเมตรต่อปี มันสำปะหลังมีความสามารถในการปรับตัวในสภาวะแห้งแล้งได้ดีและสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 50 เซนติเมตรได้ มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่สูง โดยพบว่า การสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังเป็นลักษณะร่วมของพืช C_3 และ C_4 ถ้าอุณหภูมิต่ำจะใช้การสังเคราะห์แสงแบบพืช C_3 และถ้าอุณหภูมิสูงจะเป็นแบบ C_4 (Onwueme and Charles, 1994) มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น หากช่วงแสงของวันเกิน 10-12 ชั่วโมง จะมีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง (คนัย, 2537)

ในช่วงเดือนแรกหลังการปลูกมันสำปะหลังจะมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นเป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีอายุประมาณ 2 เดือนจึงเริ่มสะสมแป้งโดยการนำไปเก็บไว้ที่รากสะสมซึ่งจะกลายเป็นหัวมัน (เจริญศักดิ์, 2532) โดยทั่วไป ต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่งจะมีรากสะสมอาหารหรือหัวอยู่ประมาณ 5-20 หัวต่อต้น (คนัย, 2537) ในขณะที่ Alves (2002) รายงานว่า มีจำนวนหัวมันอยู่ 3-14 หัวต่อต้นมันสำปะหลังหนึ่งต้น ซึ่งจำนวนหัวมันจะมีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และการเขตกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ การปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปี โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างถูกต้อง จะมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว ตลอดจนโครงสร้างของดินถูกทำลายด้วย (เจริญศักดิ์, 2519) ในการปลูกเพื่อการค้าจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักลงในดิน ตรงบริเวณ รอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอยออกมา สำหรับรากของมันสำปะหลังจะแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ รากจริง (true root หรือ wiry root) และรากสะสม (modified root หรือ storage root) และตาที่อยู่ด้านข้างจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้น หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือน รากในส่วนรากสะสมจะค่อยๆ สะสมแป้งใน parenchyma cell ทำให้มีขนาดรากโตขึ้นเรียกว่าหัว (tuber) แม้มันสำปะหลังจะเป็นพืชยืนต้นแต่เกษตรกรมักจะเก็บส่วนของหัวพืชนี้เมื่ออายุได้ประมาณ 1 ปี ซึ่งระยะนี้ต้นจะมีความสูงประมาณ 2-3 เมตร (เจริญศักดิ์, 2532; คนัย, 2537)

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนา

คาร์โบไฮเดรตของมันเส้นส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ข่อยง่าย (nitrogen free extract) ซึ่งมีอยู่สูงถึง 77-82 % โดยน้ำหนักแห้ง และส่วนใหญ่ประมาณ 80 % ของคาร์โบไฮเดรตที่ข่อยง่ายเป็นสารประกอบจำพวกแป้ง (starch) (สาโรช และคณะ, 2524) แป้งในมันเส้นยังเป็นแป้งอ่อนและข่อยง่ายจึงทำให้สัตว์สามารถนำไปข่อยและใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานให้แก่สัตว์กระเพาะเดี่ยว (อุทัย และคณะ, 2540; Montaldo, 1977) นอกจากนี้

ระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นยังมีค่าใกล้เคียงวัตถุดิบที่เป็นแหล่งพลังงานชนิดอื่นด้วย แต่มันเส้นนั้นมีข้อเสียในเรื่องมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบต่ำ และยังมีไขมัน กรดไขมัน แร่ธาตุ ไวตามิน และกรดอะมิโนที่สำคัญหลายชนิดในระดับค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ (สุวรรณณี, 2543) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางโภชนาต่างๆ ในมันเส้นและวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นๆ

องค์ประกอบทางโภชนา	วัตถุดิบอาหารสัตว์			
	มันเส้น	ปลายข้าว	ข้าวโพด	ข้างฟาง
โปรตีน (%)	2.00	8.00	8.00	11.80
กรดอะมิโน				
ไลซีน (%)	0.09	0.27	0.25	0.23
เมทไธโอนีน (%)	0.03	0.27	0.19	0.16
เมทไธโอนีน+ซิสตีน (%)	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
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีก (กิโลแคลอรี/กก.)	3500	3500	3370	3250
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกร (กิโลแคลอรี/กก.)	3360	3596	3300	3140
ไขมัน (%)	0.75	0.09	4.00	3.00
แคลเซียม (%)	0.12	0.03	0.01	0.04
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%)	0.05	0.04	0.10	0.10
เยื่อใย (%)	4.00	1.00	2.50	3.00

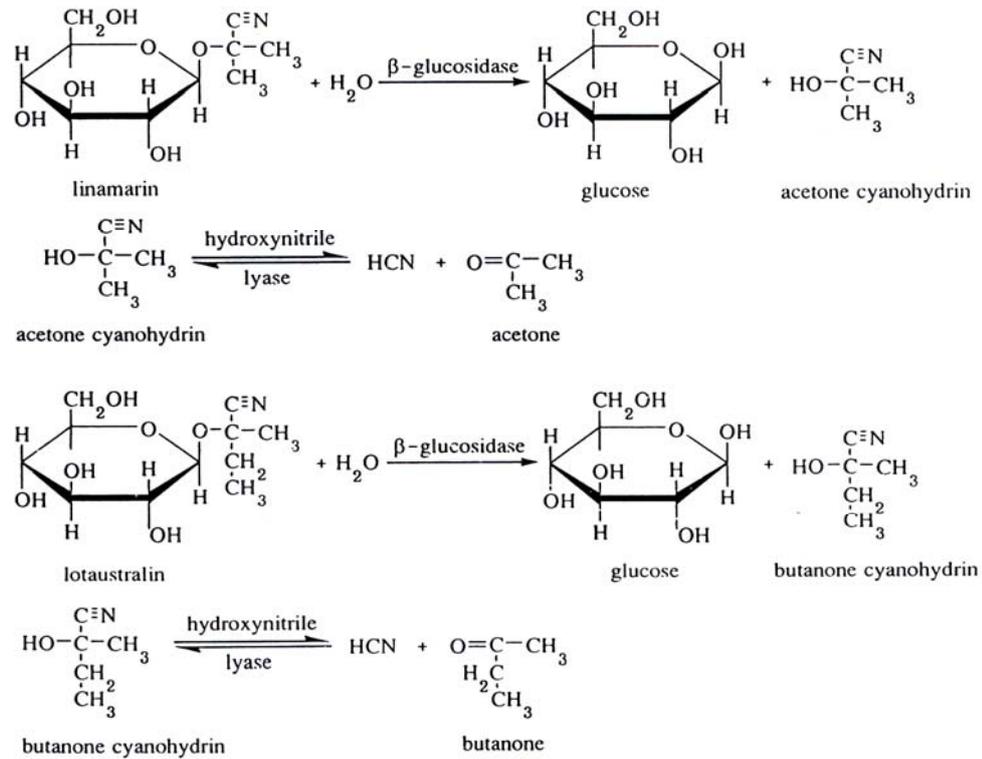
ที่มา: อุทัย (2529, 2537)

มันเส้นมีพลังงานรวมและพลังงานที่ย่อยได้ประมาณ 4,000-4,100 และ 3,650 กิโลแคลอรี/กก. ตามลำดับ (Moller *et al.*, 1978) พลังงานใช้ประโยชน์ได้มีค่าประมาณ 3,260-3,300 กิโลแคลอรี/กก. (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) ระดับพลังงานในมันเส้นอาจแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของอายุ สายพันธุ์ กรรมวิธีการผลิต นอกจากนี้หากปริมาณเยื่อใยและเถ้าสูง จะมีผลทำให้ค่าพลังงาน ค่าการย่อยได้ และค่าการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารต่ำลง (Gomez *et al.*, 1984) มันเส้นมีโปรตีนต่ำเฉลี่ยไม่เกิน 2.5 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้โปรตีนของมันเส้นยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณต่ำอีกด้วย (Allen, 1985) ดังนั้นการใช้มันเส้นเป็นแหล่งพลังงานทดแทนธัญพืชในอาหารสุกรจะได้ผลดีเพียงใดนั้นจึงขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของแหล่งโปรตีนที่นำมาชดเชยให้กับโปรตีนในมันเส้นซึ่งมีอยู่ต่ำ เพื่อให้ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่างๆ เพียงพอกับความต้องการของร่างกายสัตว์ (อุทัย และ สุกัญญา, 2547) มันเส้นมีระดับไขมันต่ำเพียง 0.4-1.0 % ของน้ำหนัก โดยมีกรดไขมันที่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดปาล์มิติก (palmitic acid) และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 38.6 และ 44.8 % ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ ส่วนกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นในอาหารมีปริมาณเพียง 10.9 % ของกรดไขมันทั้งหมด (Teles *et al.*, 1985) ดังนั้นเพื่อให้อาหารมีปริมาณไขมันพอกเพียงพอความต้องการสุกร และเพื่อเพิ่มความน่ากินของอาหาร จึงควรเสริมไขมันลงในอาหารสูตรมันสำปะหลังด้วย (อุทัย, 2529)

สารพิษในมันสำปะหลัง

ในหัวมันสำปะหลังจะมีสารไซยาโนจีนิก กลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) โดยที่สารไซยาโนจีนิก กลูโคไซด์นี้ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ลินามาริน (linamarin) และ โลทอสตราลิน (lotaustralin) ซึ่งลินามารินนั้นถูกสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาไลน์ (valine) ในขณะที่โลทอสตราลินถูกสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine) (Onwueme, 1978) Onwueme and Charles (1994) พบว่า ในหัวมันสำปะหลังมีลินามารินอยู่ประมาณ 93 % และมีโลทอสตราลินอยู่ประมาณ 7 % โดยทั้งสารลินามารินและโลทอสตราลินนั้นไม่เป็นอันตรายต่อพืช แต่จะเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ แอสพาราจिन (asparagine) กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) กรดกลูตามิก (glutamic acid) และกลูตามีน (glutamine) (Nartey, 1973) ในสภาวะปกติเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) ซึ่งเป็นเบต้า-กลูโคซิเดส (β -glucosidase) จะไม่ทำงาน แต่เมื่อเนื้อเยื่อพืชถูกทำลายหรือแตกออกจะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ลินามาเรส ทำให้ลินามารินสลายตัวเป็นกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid) กลูโคส

(glucose) และอะซีโตน (acetone) ส่วนโพลีไฮดรอกซีอะลดีไฮด์และไดคาร์บอกซิลิกแอซิด (hydrocyanic acid) กลูโคส และบิวทานอน (butanone) (Nartey, 1973; Lykkesfeld and Miller, 1994) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การสลายตัวของ linamarin และ lotaustralin

ที่มา: Conn (1994)

ความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิกอาจเกิดเนื่องจากไซยาไนด์ซึ่งจะมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในขั้นสุดท้ายของกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) ซึ่งจำเป็นเกี่ยวกับการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพของเซลล์ โดยผลที่ตามมาจะทำให้ระบบหายใจขัดข้อง สมองขาดออกซิเจน (White *et al.*, 1968)

ร่างกายสัตว์สามารถกำจัดพิษจากกรดไฮโดรไซยานิกได้โดยใช้เอนไซม์โรดานีส (rhodanese หรือ thiosulfate sulfurtransferase) ซึ่งพบมากที่ตับ ไต และต่อมไทรอยด์ เอนไซม์ชนิดนี้จะไปเร่งปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่างกรดไฮโดรไซยานิกกับสารประกอบไธโอซัลเฟต (thiosulfate, $S_2O_3^{2-}$) ได้เป็นสารประกอบไธโอไซยาเนต (thiocyanate, SCN^-) ซึ่งเป็นพิษน้อยกว่า

cyanide และถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ดังนั้นสัตว์ที่ได้รับกรดไฮโดรไซยานิก จึงพบสารไฮโอไซยานเนตในปัสสาวะ เลือด และน้ำลาย และอาจพบว่าร่างกายขาดกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ บางครั้ง thiocyanate สามารถ oxidize เป็น sulfate และ cyanide ได้ในกระแสเลือด โดยการกระตุ้น hemoglobin ที่ออกฤทธิ์เป็น peroxidase (Chang and Wood, 1971)

เมื่อมีการตัดหัวมันสำปะหลังสดนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วผึ่งแดดประมาณ 3-4 แดด จะทำให้กรดไฮโดรไซยานิกระเหยออกสู่อากาศ ซึ่งปริมาณสารพิษจะลดลงเหลือประมาณไม่เกิน 30 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นอกจากนี้การลดสารพิษในมันสำปะหลังยังสามารถทำได้อีกหลายวิธี ทั้งการหมัก การทำให้แห้ง การทำให้สุก การล้างน้ำ หรือการแปรรูปมันสำปะหลัง ซึ่งบางวิธีก็ไม่เหมาะสมกับการผลิตมันสำปะหลังเพื่อนำมาเป็นอาหารสัตว์ แต่เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งเพื่อนำเป็นอาหารสำหรับคน (อุทัย และคณะ, 2540) มันเส้นที่ผ่านการตากให้แห้งดีมีความชื้นไม่เกิน 14 % จะมีกรดไฮโดรไซยานิกตกค้างอยู่ไม่เกิน 30 ppm ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการใช้เป็นอาหารสัตว์ และการเก็บรักษามันเส้นไว้นาน 4-6 สัปดาห์ จะทำให้มีปริมาณสารพิษที่ถูกปลดปล่อยเพิ่มขึ้น จึงมีสารพิษตกค้างอยู่ในมันเส้นน้อยมาก (สาโรช และเขาวมาลย์, 2528)

ข้อดีของมันสำปะหลังในการนำมาเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่ดีทั้งกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวและกระเพาะรวม และสามารถใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารสัตว์ปีกได้ด้วย แต่ต้องระวังเรื่องสารพิษ ระดับโปรตีนและกรดอะมิโน (Oke, 1978) อาจสรุปได้ว่ามันสำปะหลังมีข้อดีดังนี้

1. แป้งย่อยง่าย แป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี และ พองตัวได้ง่ายกว่าแป้งในข้าวโพด ทำให้เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ในทางเดินอาหารสามารถย่อยแป้งมันสำปะหลังได้รวดเร็วกว่า เพราะโครงสร้างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีอะไมโลเพคตินเป็นส่วนประกอบอยู่ 83 % มากกว่าข้าวโพดที่มีเพียง 72 % และเม็ดแป้งเองก็เกิดการพองตัวยากสัตว์จึงย่อยได้ยากกว่ามันสำปะหลัง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543) และหากแป้งมันสำปะหลังได้รับการแปรรูปเป็นรูปของ มันอัดเม็ดจะส่งผลให้เกิดการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ของแป้งบางส่วนในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอัดเม็ด (สุวรรณ, 2548) อาหารที่ใช้มันเส้นยังมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบอินทรีย์วัตถุ และพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเส้นตรงจากกระเพาะจนถึงไส้ติ่ง และการย่อย

เกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ก่อนถึงลำไส้ใหญ่ ในขณะที่ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวบาเลย์ มีการย่อยได้ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Basillisa, 1996) ใ้เนื้อที่กินสูตรอาหารมันเส้น และมันอัดเม็ดมีค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและวัตถุแห้งทั้งที่สุดล่ำไส้เล็ก และสูตรทวารสูงกว่าสูตรอาหารข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ความแตกต่างระหว่างค่าการย่อยได้สุดล่ำไส้เล็กกับค่าการย่อยได้สุดทวารของอาหารสูตรมันเส้น และมันอัดเม็ดมีค่าน้อยกว่าสูตรข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าทั้งอินทรีย์วัตถุและวัตถุแห้งในอาหารมันเส้นและมันอัดเม็ดสามารถย่อยได้เกือบหมดก่อนสุดล่ำไส้เล็ก ทำให้มีส่วนของอาหารเหลือตกค้างในส่วนทางเดินอาหารส่วนท้ายน้อยกว่าและทำให้ใ้เนื้อที่กินอาหารสูตรมันสำปะหลังมีสุขภาพทางเดินอาหารดีกว่าใ้เนื้อที่กินอาหารสูตรข้าวโพด (สุวรรณ และคณะ, 2548)

2. ลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา Scudamore *et al.* (1997) ได้ตรวจสอบสารพิษจากเชื้อราในวัตถุดิบอาหารสัตว์ในปี 1992 จำนวน 330 ตัวอย่างจากโรงงานอาหารสัตว์ 186 แห่งในประเทศอังกฤษ ผลการตรวจไม่พบการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราในตัวอย่างมันเส้นจากประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เลย ขณะที่ในตัวอย่าง ข้าวโพด ำข้าว กากเนื้อในปล้ำม กากเมล็ดฝ้าย ข้าวสาลี และข้าวบาเลย์ ซึ่งเก็บในสภาพเดียวกันในโรงงานอาหารสัตว์นั้น กลับพบการปนเปื้อนของ อะฟลาทอกซิน บี1 (aflatoxin B1), ฟุโมนิซิน บี1, บี2 (fumonisin B1, B2) และซีราลีโนน (zeralenone) แม้ผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในสภาพการผลิตและการเก็บรักษาโดยทั่วไปอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อราอยู่บ้าง แต่เชื้อราเหล่านั้นจึงมีการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินและสารพิษอื่น ๆ น้อยมากหรือไม่สร้างเลย อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสัตว์ด้วย

3. ทำให้สัตว์มีสุขภาพดี ผลการใช้มันเส้นเป็นอาหารสัตว์มักพบว่า สัตว์ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารมันเส้นมักมีสุขภาพดีขึ้น ความต้านทานโรคสูงขึ้นและมีความต้องการใช้ยาปฏิชีวนะลดน้อยลง สุวรรณ (2548) กล่าวว่า การที่มันเส้นสามารถย่อยและดูดซึมได้ง่ายในส่วนต้นของลำไส้เล็ก ทำให้ glucose หลงเหลืออยู่ในส่วนลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนปลายน้อย จึงไม่มี glucose เหลือพอสำหรับจุลินทรีย์ที่หลงเหลือเข้ามาทกับอาหาร โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ เช่น *Salmonella* หรือ *Escherichia coli* ทำให้จุลินทรีย์เหล่านั้นไม่สามารถเพิ่มจำนวนและเจริญในส่วนลำไส้เล็กได้ จึงลดการทำลายผนังลำไส้เล็ก ทำให้สัตว์ที่กินมันเส้นมีสุขภาพดีปราศจากโรคทางเดินอาหาร การที่แบ่งถูกย่อยได้ดีในทางเดินอาหารนั้น เป็นการส่งเสริมใ้มีการเจริญของแลคติกแบคทีเรีย เช่น กลุ่มแลคโตบาซิลัส ในทางเดินอาหารส่วนท้ายมากขึ้น ส่งผลใ้ปริมาณประชากรแลคโตบาซิลัส

สูงขึ้นและมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำลง (มีกรดแลคติกมากขึ้น) ทำให้มีการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน โรคในสัตว์ให้สูงขึ้นตามไปด้วย กานดา (2546) ได้รายงานถึงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์โดยธรรมชาติ บนมันเส้น มันอัดเม็ด และข้าวโพดในประเทศไทย พบว่ามันเส้นมีการปนเปื้อนของ Lactic acid bacteria ยีสต์ และ *Escherichia coli* ในขณะที่ข้าวโพดพบการปนเปื้อนของ *Escherichia coli* เท่านั้น และพบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรมันเส้นมีประชากรของจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัสและยีสต์ มากกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด แต่มีค่า pH และประชากรของ จุลินทรีย์ *Escherichia coli* ที่ปลายลำไส้เล็กต่ำกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด ($P < 0.05$) สภาพทางเดินอาหารดังกล่าวมีผล ให้สุกรที่กินอาหารสูตรมันเส้นมีสุขภาพและความต้านทานโรคดีกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพด

สุวรรณ และคณะ (2548) รายงานว่า เนื้อที่กินอาหารสูตรมันเส้นและมันอัดเม็ดมี ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* สูงกว่า และมีปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค ได้แก่ *Escherichia coli* น้อยกว่าอาหารสูตรข้าวโพด ทั้งในส่วนปลายลำไส้เล็กและไส้ติ่ง (caecum) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พาพร และคณะ (2546) รายงานผลของการใช้อาหารสูตรข้าวโพดและสูตรมันเส้น โดยมีการเสริมยาปฏิชีวนะและไม่ เสริมยาปฏิชีวนะในอาหารสูตรระยะรุ่น-ขุน พบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพดและสูตรมันเส้น เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีอัตราการแลกน้ำหนักและอัตราการเจริญต่อวันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทางสถิติ และการไม่เสริมยาปฏิชีวนะในสูตรอาหารข้าวโพด มีผลให้สุกรโดยรวมมีสมรรถภาพ การผลิตน้อยกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรข้าวโพดที่มีการเสริมยาปฏิชีวนะ และสุกรเพศเมียที่กิน อาหารสูตรมันเส้นทั้งที่เสริมและไม่เสริมยาปฏิชีวนะมีสมรรถภาพการผลิตดีกว่าสุกรเพศผู้ตอน ($P < 0.05$) และยังพบว่าทั้งสุกรเพศผู้ตอนและสุกรเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันเส้นมีแนวโน้มที่จะให้ สมรรถภาพการผลิตดีกว่าสุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียที่กินอาหารสูตรมันเส้นที่เสริมยาปฏิชีวนะ

4. ทำให้มูลสัตว์มีกลิ่นเหม็นลดลง เมื่อสัตว์กินอาหารสูตรอาหารมันเส้นจะทำให้กลิ่น เหม็นของมูลลดลง ส่งผลให้แมลงวันมารบกวนน้อยลง จึงเป็นการลดจำนวนของแมลงที่เป็นพาหะ นำโรคร้ายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากเมื่อสัตว์กินอาหารสูตรมันเส้นจะมีผลทำให้สภาพความเป็น กรด-เบสในทางเดินอาหารมีค่าต่ำลง และมีปริมาณ *E. coli* ในทางเดินอาหารส่วนปลายลดลง จึงส่งผล ให้มีการผลิตสาร indole และ skatole (3-methyl indole) ซึ่งเป็นสารที่ส่งกลิ่นในมูลสัตว์ลดลงและ ยังส่งผลให้ความเป็นกรด-เบสในมูลสุกรต่ำลงด้วย ทำให้มีสภาพไม่เหมาะสมต่อการที่ไข่แมลงวัน จะฟักตัวออกเป็นตัวอ่อนของแมลงวันได้ (อุทัย และสุกัญญา, 2547)

5. สามารถใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานได้อย่างเต็มที่ในสูตรอาหารสัตว์ ซึ่งอุทัย และสุกัญญา (2547) กล่าวถึง ผลการใช้มันเส้นเป็นอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ ในประเทศไทย ทั้งในภาคเกษตรกรรมและโรงงานอาหารสัตว์ว่า สามารถใช้มันเส้นทดแทนธัญพืช ได้แก่ ปลายข้าว และข้าวโพดในอาหารสุกร อาหารสัตว์ปีก อาหารสัตว์กระเพาะรวม และอาหารสัตว์น้ำได้ทั้งหมดในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากแต่ประการใด

จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร

Maxwell and Stewart (1995) ได้รายงานจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์ที่อาศัยในระบบทางเดินอาหาร โดยการตรวจนับจากมูล พบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากมูล และของเหลวจากไส้ติ่ง (cecal content) จะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก เช่น สเตรปโตคอคคัส และส่วนที่เหลือจะเป็นกลุ่มแกรมลบ จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งจะอาศัยอยู่ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และโดยเฉพาะลำไส้ใหญ่ซึ่งมีจุลินทรีย์หนาแน่น เพราะในบริเวณนี้มีความเหมาะสมทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีมากกว่าส่วนอื่น จุลินทรีย์เหล่านี้จะเกาะจับอยู่บริเวณเยื่อเมือกในลำไส้ หรืออาศัยอยู่ในร่องระหว่างวิลไลหรือคริปต์ (Salminen *et al.*, 1993) สามารถแบ่งประเภทจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารตามผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic microorganism) คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ หรือทำให้ร่างกายเกิดความผิดปกติ เช่น แบคทีเรียพวก *E. coli*, *Salmonella spp.* และ *Vibrio cholera* เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดอาการท้องเสียโดยทำให้มีของเหลวในลำไส้มากขึ้น (อุทัย, 2535; Kyriakis, 1983; Pollmann, 1986) โดยเฉพาะในลูกสุกรหย่านม เนื่องจากลูกสุกรระยะนี้จะได้รับ ความเครียดจากการเปลี่ยนอาหารและการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม จึงทำให้ลูกสุกรมีสุขภาพอ่อนแอ มีระดับภูมิคุ้มกันต่ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มจำนวนของ *E. coli* (Kyriakis, 1983) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีอยู่โดยทั่วไปในทางเดินอาหารและเป็นสาเหตุของอาการท้องเสียในลูกสุกร (Pollmann, 1986)

2. ประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (non-pathogenic microorganism) คือ จุลินทรีย์ที่ไม่ก่ออันตรายต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีประโยชน์หลายกรณี เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะสามารถสร้างโคโลนีเคลือบผิวของวิลไลที่ผนังลำไส้ แย่งและครอบครองพื้นที่บนเยื่อทางเดิน

อาหารได้ดี นอกจากนี้ยังหลังสารทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคไม่ให้มีมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อร่างกายสัตว์ ทำให้เกิดสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และการหมักย่อยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ยังก่อให้เกิดกรดไขมันสายสั้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหารสัตว์อีกด้วย (Tannock, 1999) จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ได้แก่ แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*) สเตรปโตคอคคัส (*Streptococcus faecium*) บาซิลลัส (*Bacillus subtilis*) บิฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium*) และ ยีสต์ เป็นต้น (อุทัย, 2535; John et al., 1989)

เชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่ในสภาพที่สมดุลแต่หากสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์สูญเสียไปซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ลูกสุกรมีความเครียด อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากผิดปกติ ภูมิต้านทานอย่างแออัด การเคลื่อนย้าย ภาวะการอดอาหารหรือกินไม่พอกิน การเปลี่ยนอาหารอย่างกะทันหัน หรือใช้ยาปฏิชีวนะที่ออกฤทธิ์ได้กว้างขวาง (broad spectrum antibiotics) อาจมีผลรบกวนภาวะความสมดุลของจุลินทรีย์ประจำถิ่น (normal flora) ที่มีภายในลำไส้ ซึ่งอาจทำให้เชื้อโรคลำไส้หรือเชื้อ *E. coli* เพิ่มจำนวนขึ้นได้ (Lyons, 1987)

การพัฒนาของระบบทางเดินอาหารและการทำงานของเอนไซม์ในลูกสุกร

สุกรแรกเกิดนั้นจะมีความเป็นกรดของกระเพาะที่อ่อนมาก (pH ประมาณ 3.5-4.5) ซึ่งไม่สามารถสลายโครงสร้างที่สลับซับซ้อนของโปรตีนจากพืช หรือจากสัตว์บางชนิดได้ (เสกสม, 2543; อาวุธ, 2531) แต่ค่าความเป็นกรดดังกล่าวกลับก่อให้เกิดประโยชน์แก่ตัวลูกสุกรคือ ทำให้โปรตีนเคซีน (casein) ในน้ำนมเสียสภาพธรรมชาติและเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นสภาพที่แข็งตัวขึ้น ส่งผลให้น้ำนมอยู่ในกระเพาะนานขึ้น ลูกสุกรรู้สึกอิ่มและทำให้น้ำย่อยในกระเพาะสามารถย่อยโปรตีนในน้ำนมได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้น้ำย่อยแลคเตส (lactase) ของลูกสุกรจะปรากฏในลำไส้เล็กตั้งแต่วัยยังเป็นตัวอ่อนในท้องแม่สุกรจากนั้นจะมีการเพิ่มระดับขึ้นตั้งแต่ลูกสุกรเกิด และเพิ่มขึ้นสูงสุด (2.5 เท่า) ในช่วงอายุ 1-2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดระดับลงเรื่อยๆ จนถึงอายุ 7 สัปดาห์ ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาที่แม่สุกรผลิตน้ำนมได้ ส่วนน้ำย่อยซูเครส (sucrase) จะเริ่มมีการพัฒนาเมื่อลูกสุกรอายุได้ 1 สัปดาห์ และจะคงอยู่ในทางเดินอาหารตลอดไป (นพวรรณ, 2530)

ลูกสุกรแรกเกิดมีระดับ maltase ที่ค่อนข้างต่ำ แต่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนลูกสุกรอายุได้ 8 สัปดาห์ (143 เท่า) น้ำย่อย sucrase มีการเพิ่มระดับขึ้นเช่นเดียวกับ maltase ทั้ง lactase, maltase และ sucrase พบน้อยมากในลำไส้เล็กส่วนต้น แต่ lactase มีมากในส่วนลำไส้เล็กส่วนกลาง ส่วน maltase และ sucrase พบมากในส่วนลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนปลาย จากข้างต้นนี้อาจกล่าวได้ว่า ในช่วงสัปดาห์แรกหลังคลอดปริมาณของน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยโภชนะในน้ำนมจะมีปริมาณมากควบคู่ไปกับปริมาณน้ำนมที่แม่สุกรผลิตได้ แต่เมื่อลูกสุกรอายุมากขึ้น น้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยโภชนะในน้ำนมก็จะลดลง ในขณะที่น้ำย่อยอื่นๆ ที่มีอยู่น้อยในระยะแรกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น มีผลให้ระบบย่อยอาหารของลูกสุกรสามารถย่อยและดูดซึมน้ำตาล glucose ไปใช้ประโยชน์ได้แต่ไม่สามารถย่อยน้ำตาล sucrose, แป้ง หรือสารประเภท polysaccharide เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ สำหรับน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยแป้ง ได้แก่ amylase จากตับอ่อน พบว่ามีในระดับต่ำเมื่อลูกสุกรยังอายุน้อย แต่จะเพิ่มระดับสูงขึ้นเมื่อลูกสุกรมีอายุมากขึ้น โดยจะสร้างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 4-5 และสร้างเต็มที่เมื่อลูกสุกรอายุได้ 8 สัปดาห์ จึงเป็นเหตุให้ลูกสุกรที่อายุน้อยไม่สามารถนำอาหารจำพวกแป้งไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ แต่ลูกสุกรสามารถดูดซึมไขมันไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพตั้งแต่แรกเกิด เนื่องจากมีการผลิตน้ำย่อยไขมัน (lipase) จากตับอ่อน และน้ำดีในปริมาณที่มากพอ โดยสามารถดูดซึมไขมันไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (มูกริน และ สุกัญญา, 2542)

เอนไซม์ที่ใช้ในอาหารสัตว์

เนื่องจากในปัจจุบันมีการแข่งขันทางเศรษฐกิจสูงดังนั้นจึงมีการค้นคว้าปรับปรุงอาหารสัตว์คุณภาพต่ำให้ใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ประกอบกับกฎหมายมีบทบาทสำคัญที่กำหนดไม่ให้มีการใช้ยาหรือสารเคมีอื่นๆ เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาข้างต้นโดยใช้เอนไซม์ทางการค้าที่สกัดได้จากแหล่งต่างๆ มากขึ้น เช่น เอนไซม์จาก ฟิช สัตว์หรือจุลินทรีย์ และเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญคือเอนไซม์ที่สกัดได้จากจุลินทรีย์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพได้ดีที่สุด (Chesson, 1993)

Bedford and Partridge (2001) ระบุว่าเหตุผลหลักในการนำเอาเทคโนโลยีในด้านเอนไซม์มาใช้ในอาหารสัตว์นั้น คือเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะที่มีอยู่ในอาหารสัตว์ ซึ่งจำแนกได้เป็น 4 ข้อ ดังนี้

1. เพื่อสลายปัจจัยที่ส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากอาหารลดลง ซึ่งมักพบปัจจัยดังกล่าวใน ส่วนประกอบโดยทั่วไปในอาหารสัตว์ สิ่งเหล่านี้มักไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่สัตว์สร้างขึ้นมาและยัง ขัดขวางการย่อยอาหาร จึงเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของระบบย่อยอาหารลดลง

2. เพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของแป้ง โปรตีน และแร่ธาตุ ซึ่งมักถูกล้อมรอบด้วยส่วนประกอบ ที่เป็นผนังเซลล์ซึ่งเอนไซม์ในตัวสัตว์ไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือสารอาหารเหล่านี้อาจจับกันด้วย พันธะทางเคมีบางพันธะซึ่งตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยได้เช่นกัน

3. เพื่อสลายพันธะเคมีที่มีความจำเพาะในวัตถุดิบซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ จากตัวสัตว์ ทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารในปริมาณที่มากขึ้น

4. เพื่อเป็นการเสริมเอนไซม์ชนิดเดียวกันกับที่สัตว์สร้างขึ้นเอง โดยเป็นการเสริมให้แก่ ลูกสัตว์เพราะระบบย่อยอาหารของลูกสัตว์ยังพัฒนาไม่เต็มที่จึงทำให้ผลิตเอนไซม์ได้ไม่เพียงพอต่อ ความต้องการ

โดยทั่วไปสัตว์ไม่สามารถย่อยอาหารที่มันกินเข้าไปได้ทั้งหมด กล่าวคือจะมีอาหารคิดเป็น สัดส่วนประมาณ 15-25 % ที่ไม่ถูกย่อย ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์จึงเป็นการช่วยเพิ่ม ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารให้แก่ตัวสัตว์ด้วย (Bedford and Partridge, 2001) กลุ่มเอนไซม์ xylanase เอนไซม์ phytase และเอนไซม์ β -glucanase เป็นเอนไซม์ที่มีศักยภาพสูงในการนำไปใช้ ประโยชน์เพื่อลดความหนืดของอาหารสัตว์ มีเชื้อราหลายชนิดที่สามารถสร้างเอนไซม์ย่อยสลาย วัตถุดิบที่ใช้ในอาหารสัตว์ได้ และเชื้อรา *Aspergillus* เป็นเชื้อราสายพันธุ์หนึ่งที่มีประสิทธิภาพใน การผลิตเอนไซม์ endo- β -xylanase (Bhat and Hazlewood, 2001)

คุณสมบัติของเอนไซม์ที่ใช้ในอาหารสัตว์

1. เอนไซม์ที่ใช้จะต้องมีความเสถียรเมื่อเติมลงในอาหารสัตว์ เนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ แต่ละชนิดมีส่วนประกอบของอาหารต่างกัน เอนไซม์จะต้องทนต่อสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บ รักษาอาหารสัตว์นั้น ๆ โดยไม่เสียสภาพก่อนที่จะนำอาหารนั้นไปให้สัตว์กิน (McCleary, 2001)

2. เอนไซม์ที่ใช้จะต้องมีความเสถียรในระหว่างขั้นตอนการผลิตและหลังจากขั้นตอนการผลิตอาหารสัตว์ (Enzyme during and after processing) เอนไซม์ที่ใช้ในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ไม่มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง แต่ในขั้นตอนการผลิตอาหารสัตว์จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 60°C เช่น การผสมกับอาหารในรูปของเหลวหรือการอัดเม็ด จึงอาจทำให้เอนไซม์นั้นสูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานได้ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเอนไซม์ผสมอยู่ในรูปอาหารเม็ดแล้วกิจกรรมของเอนไซม์จะยังคงเหลืออยู่ดีกว่าในรูปอาหารเหลวและสามารถป้องกันเอนไซม์จากการย่อยของ เอนไซม์ protease ในกระเพาะสัตว์ได้อีกด้วย (Chesson, 1993)

3. เอนไซม์ที่ใช้จะต้องมีความเสถียรเมื่อเข้าไปในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ เนื่องจากในระบบทางเดินอาหารของสัตว์มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) แตกต่างกัน โดยเฉพาะในกระเพาะอาหารของสัตว์ซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูง เอนไซม์ที่ใช้จะต้องสามารถทนและทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด โดยเฉพาะในสัตว์กระเพาะเดี่ยว (non-ruminant) เอนไซม์ที่ใช้จะต้องมีความประสิทธิภาพในการทำงานสูง ซึ่งต้องสัมพันธ์กับเวลาการเคลื่อนที่ผ่านของอาหารในกระเพาะที่มีระยะเวลาสั้น นอกจากนี้เอนไซม์ต้องมีความสามารถในการทนต่อเอนไซม์ protease ในกระเพาะอาหารของสัตว์ด้วย (McCleary, 2001)

4. เอนไซม์ที่ใช้จะต้องมีความจำเพาะต่อซับสเตรต ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในอาหารสัตว์ โดยทั่วไปนิยมใช้เอนไซม์เติมลงไปเพื่อย่อยส่วนที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ เช่น สารพวก non-starch polysaccharide (เช่น β -glucan, arabinoxylan, mannan, galactan และ xyloglucan) ซึ่งพบได้ในธัญพืชชนิดต่าง ๆ (Choct, 1997)

5. สัตว์ต้องมีความสามารถในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยซับสเตรตของเอนไซม์ไปใช้ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์จะเป็นสารโมเลกุลเล็กๆ เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน กรดไขมัน และสารอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งสัตว์สามารถที่จะย่อยและดูดซึมไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว (Choct, 1997)

Non-starch polysaccharides (NSPs)

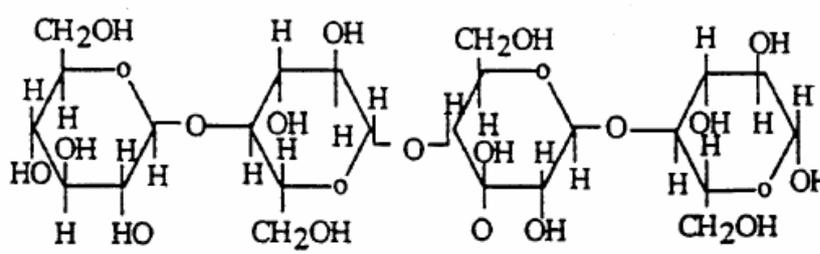
องค์ประกอบที่พบในผนังเซลล์ส่วนใหญ่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลัก (major component) และองค์ประกอบรอง (minor component) โดยส่วนที่เป็นองค์

ประกอบหลักประกอบด้วยส่วนที่เป็น polysaccharide และสารประกอบ aromatic compounds ส่วนที่เป็นองค์ประกอบรองในผนังเซลล์ประกอบด้วย สารละลายธรรมชาติ (neutral solvents) ปริมาณสารประกอบแต่ละกลุ่มมีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของพืช แต่ละส่วนของพืชมีปริมาณของสารประกอบต่างๆไม่เท่ากัน polysaccharides เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีมวลโมเลกุลสูง ที่พบมากในผนังเซลล์พืชได้แก่ cellulose และ hemicellulose สารทั้งสองชนิดนี้มีความสัมพันธ์กันและมักอยู่รวมกันเรียกว่า holocellulose โดยมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60-80 ของสารประกอบทั้งหมด (Bhat and Hazlewood, 2001)

คาร์โบไฮเดรตประเภท NSPs มักเป็น โครงสร้างของผนังเซลล์พืชที่พบโดยทั่วไป เอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อย NSPs ได้ แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อย NSPs ให้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid; VFA) และดูดซึมนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ถึง 50 % ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในไก่การย่อยโดยจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นมีน้อยมาก กล่าวคือเพียง 2-3 % เท่านั้น จากการที่ NSPs แต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างและการละลายได้ที่ต่างกันจึงมีการย่อยได้ต่างกันด้วย โดยทั่วไป NSPs ที่ละลายได้จะมีการย่อยได้มากกว่าพวกที่ไม่ละลาย ในสุกรพบว่า การย่อยได้ของ NSPs ที่ละลายได้มีสูงมาก ในขณะที่พวกที่ไม่ละลาย เช่น cellulose มีการย่อยได้ประมาณ 34-60 % (บุญล้อม, 2546) ซึ่ง NSPs ชนิดหลักที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่

1. เซลลูโลส (cellulose) เป็น polysaccharides ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชและเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อใย ทนต่อการย่อยได้ด้วยกรดและด่าง cellulose ประกอบด้วย glucose เป็นจำนวนมากเชื่อมกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแบบ β -1, 4-glycosidic อย่างมีระเบียบ (ภาพที่ 2) ซึ่งพันธะนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสัตว์ชั้นสูง แต่จุลินทรีย์มีเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่สามารถย่อยพันธะนี้ได้ ดังนั้นสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ ในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้องเช่น โค และกระบือสามารถใช้ได้ดี เพราะมีจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (reticulorumen) และในไส้ติ่ง (caecum) ช่วยในการย่อยพันธะดังกล่าว (บุญล้อม, 2546) cellulose มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 20,000 ถึง 750,000 ดาลตันซึ่งเท่ากับ 100-4,000 หน่วย glucose โมเลกุลของ cellulose เรียงตัวเป็นมัดเรียกว่า fibril โดยมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาล glucose ที่อยู่ใกล้กันของ cellulose สายหนึ่งกับ cellulose อีกสายหนึ่ง เชื่อมต่อกันเป็น fibril นอกจากนี้ cellulose ที่พบในทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งมีความทนต่อ กรดได้มากกว่า hemicellulose (Eriksson *et al.*, 1990) บริเวณที่มีการจัดเรียง โมเลกุลของ cellulose อย่างเป็นระเบียบสูง

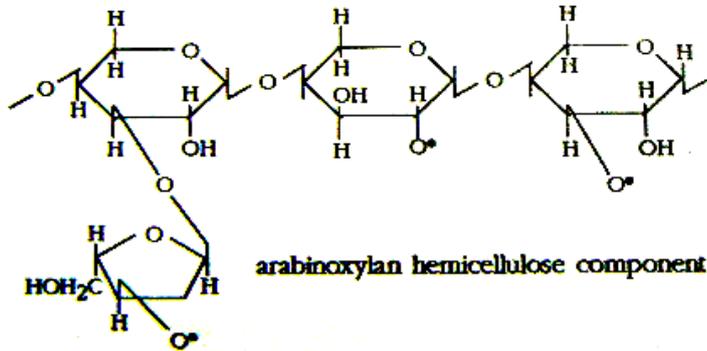
เรียกว่าบริเวณ crystalline ส่วนบริเวณที่มีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบหรือมีความเป็นระเบียบน้อย เรียกว่าบริเวณ amorphous หรือ paracrystalline ซึ่งบริเวณที่มีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบนี้จะยอมให้ เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาเพื่อย่อยสลายพันธะต่างๆ ได้ง่ายกว่าบริเวณที่เป็นระเบียบ (Reese, 1976)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ cellulose

ที่มา: Eriksson *et al.* (1990)

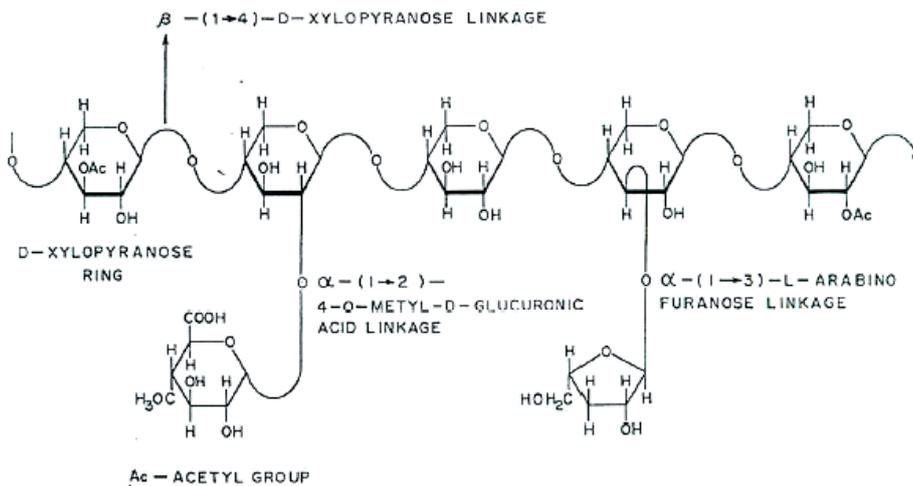
2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชเช่นกัน เอนไซม์จากสัตว์กระเพาะเดียวไม่สามารถย่อยได้ แต่จุลินทรีย์สามารถย่อยได้โดยเช่นเดียวกับ cellulose โดยที่ hemicellulose ไม่ได้มีโครงสร้างคล้าย cellulose แต่เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ ระหว่างตำแหน่งที่เซลล์ต่อกันอยู่เรียกว่า middle lamella พบในต้นอ่อนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต และพบบริเวณผิวนอกที่หุ้มเมล็ด (hulls) ถั่ว (พันทิพา, 2543) พบว่ามี hemicellulose เป็นปริมาณมากในเมล็ดข้าวโพด และรำข้าวสาลี ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนปลายสามารถย่อยได้ประมาณ 50-80 % (เสกสม, 2545) hemicellulose เป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 2 ชนิด น้ำตาลที่พบมาก ได้แก่ ไซโลส (D-xylose) อะราบิโนส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว นอกจากนี้ยังมีกลูโคส (D-glucose) แมนโนส (D-mannose) กาแล็กโทส (D-galactose) และกรดกลูคูโรนิก (D-glucuronic acid) เชื่อมกันด้วยพันธะแบบ β -1, 4 และอาจมีสายโซ่กิ่งด้วย (ภาพที่ 3) hemicellulose อาจจำแนกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบได้เป็น mannan, galactan, xylan, glucomannan, arabinoxylan และ arabinogalactan เป็นต้น (บุญล้อม, 2546) xylan เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด ใน hemicellulose โดยมีโครงสร้างหลักที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-linkage ของน้ำตาล xylose และมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาลต่าง ๆ (Eriksson *et al.*, 1990) hemicellulose ที่พบในธรรมชาติมักอยู่ร่วมกับ lignin และ cellulose จึงทำให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น (Kirk, 1983)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ Hemicellulose

ที่มา: Voet and Voet (1995)

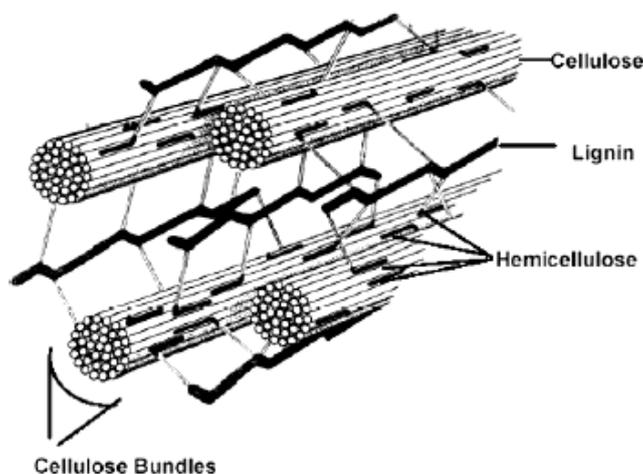
polysaccharides ที่สำคัญที่จัดเป็น hemicellulose คือ xylan และ mannan โครงสร้างของ xylan ประกอบด้วย D-xylopyranose ประมาณ 200 หน่วย xylan จากแหล่งต่างๆ จะมีโครงสร้างหลักเหมือนกันแต่ต่างกันตรงโซ่กิ่ง โดยโซ่กิ่งที่พบทั่วไปได้แก่ L-arabinofuranose, D-glucuronic acid, 4-O methyl-D-glucuronic acid และ acetic acid (Goodwin and Mercer, 1972; Wong *et al.*, 1988) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของ xylan

ที่มา: Eriksson *et al.* (1990)

xylan ใน hemicellulose ยึดเกาะกับ cellulose ด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้น xylan จึงมีบทบาทเป็นตัวประสานโครงสร้างเส้นใยของผนังเซลล์พืชเข้าด้วยกัน มีการตั้งสมมติฐานว่าเส้นใย cellulose จะถูกล้อมรอบเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า lignin-polysaccharide matrix (Patrick, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 5

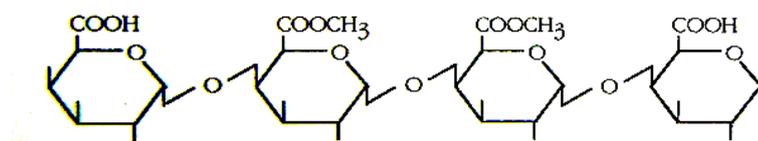


ภาพที่ 5 โครงสร้างของ lignin-polysaccharide matrix
ที่มา: Patrick (2002)

xylan เป็น heteropolysaccharide ที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีน้ำตาล xylose เป็นโครงสร้างหลัก และมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาลต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย xylan มักพบ acidic และ arabinoxylooligosaccharides ด้าน non-reducing end เพราะอีกด้านหนึ่งของพันธะมีกิ่งก้านช่วยป้องกันการถูกย่อยสลายด้วย xylanase เนื่องจาก xylan มีโครงสร้างที่ทำให้ย่อยได้ยากจึงต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เอนไซม์ในกลุ่มย่อย xylan ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโครงสร้างหลักซึ่ง ได้แก่ endoxylanase และ β -xylosidase และที่ทำหน้าที่ย่อยโซ่กิ่ง (branch chain) ได้แก่ α -glucuronidase acetyl xylan esterase, α -arabinofuranosidase และ phenolicacid esterase โดยเอนไซม์ทั้งสองกลุ่มนี้จะทำงานร่วมกันในการเปลี่ยน xylan ให้เป็น น้ำตาล xylose (Eriksson *et al.*, 1990)

3. เพคติน (pectin) เป็น heteropolysaccharide ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในผนังเซลล์พืช โดยเป็น substrate ของเอนไซม์ pectinase พบ pectin ได้ในส่วน middle lamella ของ primary cell wall ในพืชที่อายุน้อยและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อ parenchyma โดยจะพบมากในเนื้อเยื่อที่

มีการขยายขนาดของเซลล์ โครงสร้างหลักของสารประกอบ pectin ประกอบด้วยกรดคาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid) ที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4-glycosidic linkage (ภาพที่ 6) pectin มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 30,000–300,000 ดาลตัน (Pilnik and Voragen, 1992)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของ pectin

ที่มา: Voet and Voet (1995)

pectin มักอยู่ร่วมกับ cellulose และทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกันคล้ายกาว สามารถละลายได้ในน้ำเย็น แต่ไม่ละลายในน้ำร้อน มีมากในเปลือกส้ม มะนาว กากแอปเปิล และกากหัวบีต (sugar beet pulp) ซึ่งเป็นอาหารสัตว์ที่สำคัญในแถบเมืองหนาว (บุญล้อม, 2546)

ผลของ NSPs ที่มีต่อสุกร

NSPs เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืชที่พบโดยทั่วไป เอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อย NSPs ได้ แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยและหมัก NSPs ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) และดูดซึมนำไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50 % ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ไก่มักย่อย NSPs โดยจุลินทรีย์ และมีการนำ NSPs ไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก กล่าวคือเพียง 2-3 % เท่านั้น (บุญล้อม, 2546) แป้งและสารอาหารอื่นๆ ในธัญพืชจะพบอยู่ใน endosperm และ aleurone layer ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารจะทำให้ส่วนของ endosperm แยกออกและถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่อไป อย่างไรก็ตามในส่วนของ aleurone layer นั้นมีส่วนของผนังเซลล์ ซึ่งยังคงสภาพเดิมแม้จะผ่านกระบวนการผลิตอาหารมาแล้ว จากการที่ผนังเซลล์ดังกล่าวยังอยู่ในสภาพเดิมจึงทำให้เอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยสารอาหารที่อยู่ในชั้น aleurone layer ได้ (Olukosi *et al.*, 2007)

ในอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ หรือข้าวไรย์ มีสัดส่วนของเยื่อใยทั้งส่วนที่ละลายในน้ำได้ และที่ละลายในน้ำไม่ได้อยู่ร่วมกัน ส่วนของเยื่อใยที่ละลายในน้ำได้นั้น

สามารถเพิ่มความหนืดของอาหารที่อยู่ในลำไส้เล็กและขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ จึงส่งผลให้การเติบโตของสัตว์ลดลง นอกจากนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดความผิดปกติของระบบย่อยอาหาร เช่น ทำให้เกิดโรคลำไส้ใหญ่อักเสบในสุกรและทำให้มูลของสัตว์ปีกมีลักษณะเหนียวติดกันเป็นต้น (Bedford and Partridge, 2001)

NSPs ส่วนที่ละลายได้มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ พองตัวเป็นวุ้น ทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากตัวสัตว์ จึงทำให้การย่อยได้ของสารอาหารอื่นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ที่อายุน้อย แต่จุลินทรีย์ในลำไส้สามารถย่อย NSPs ชนิดนี้ได้ ในขณะที่ NSPs ที่ไม่ละลายน้ำนั้นจะเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารได้เร็วกว่า และจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถย่อยได้น้อยกว่า จึงก่อให้เกิดปัญหาที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดก่อโรคน้อยกว่า NSPs ที่ละลายน้ำได้ (บุญล้อม, 2546) ความหนืดที่เกิดขึ้นจากเชื้อยีสที่ละลายน้ำได้ เช่น β -glucans, arabinoxylans, gums, mucilage และ pectins จะทำให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะลดลง โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และสารตั้งต้นต่างๆ (Bedford and Schulze, 1998) ส่วน Simon (1998) กล่าวว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase จะทำให้ NSPs ที่ละลายน้ำได้มีโมเลกุลเล็กลง จึงทำให้ความหนืดของสิ่งย่อยลดลง แต่โดยปกติแล้วสิ่งย่อยในทางเดินอาหารของสุกรจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าสัตว์ปีก (มากกว่าประมาณ 10 % เมื่อให้อาหารสูตรเดียวกัน) ดังนั้นจึงพบว่าสุกรมีปัญหาก่เกิดขึ้นจากความหนืดของสิ่งย่อยน้อยกว่าสัตว์ปีก (Danicke et al., 1999; Partridge, 2001)

กากถั่วเหลืองประกอบด้วย NSPs หลายชนิด แต่ที่พบเป็นหลัก ได้แก่ arabinogalactans, arabinans, galactans, galactomannans, mannans และ pectic polysaccharides (Slominski, 2000) นอกจากนี้ Gabert (1994) ยังพบว่า กากถั่วเหลืองมี cellulose และ hemicellulose เป็นองค์ประกอบในปริมาณ 3.39 % และ 3.48 % ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแยกออกเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ประมาณ 6 % และ NSPs ส่วนที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 18-21 % (Bach Knudsen, 1997) Simon (1998) กล่าวว่า NSPase ที่เสริมลงในอาหารจะทำการย่อย NSPs ทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้ความหนืดของสิ่งย่อยลดลงและทำให้ส่วนของผนังเซลล์ใน NSPs แดกออก สัตว์จึงสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารที่อยู่ภายในได้มากขึ้น ผนังเซลล์ของถั่วเหลืองประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักที่เป็น NSPs 2 ชนิด ได้แก่ β -glucan ซึ่งพบมากในผนังเซลล์ชนิดปฐมภูมิ และ pectin ซึ่งพบในผนังเซลล์ชนิดทุติยภูมิ (Huisman et al., 2000) สาร pectin ในอาหารสามารถทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่จะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของลูกสุกร เช่น ไลซีน และทรีโอนีนลดลงได้ (Zhu

and Lange, 2001) การที่ NSPs จับกับกรดอะมิโนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาต่อค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนในตัวสัตว์ (Jondreville *et al.*, 2000) ดังนั้นหากอาหารลูกสุกรหย่านมมีปริมาณของกากถั่วเหลืองในระดับสูง จะเป็นเหตุให้ลูกสุกรย่อยและดูดซึมสารอาหารได้น้อยลง มีอาการท้องเสีย และอัตราการตายเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรลดลง (Pedersen, 1988)

บทบาทและกลไกการทำงานของ NSP-degraded enzymes; NSPase

ข้อจำกัดในการกำหนดสูตรอาหารที่พบบ่อยครั้ง คือความสามารถของสัตว์ในการย่อยส่วนประกอบต่างๆ ของวัตถุดิบรวมถึงส่วนที่เป็นเยื่อใยด้วย หากกระบวนการย่อยอาหารเกิดขึ้นอย่างไรประสิทธิภาพแล้วจะทำให้ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรสูงขึ้น (Bedford and Partridge, 2001) ด้วยเหตุนี้จึงมีการผลิตเอนไซม์ทางการค้าซึ่งเรียกโดยรวมว่า NSP-degraded enzymes หรือ NSPase เพื่อช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น ซึ่ง NSP-degraded enzymes นี้มีทั้งชนิดที่มีความจำเพาะเจาะจงกับ substrate เช่น xylanase, glucanase, mannanase, galactosidase หรือเป็นแบบรวมหลายชนิด (cocktail, complex) เอนไซม์เหล่านี้มักผลิตจากจุลินทรีย์เพราะจุลินทรีย์มีความสามารถในการย่อยผนังเซลล์พืชได้ดี ตัวอย่างเช่น β -mannanase ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ *Bacillus lentus* สามารถย่อย β -mannan ซึ่งมีมากในกากปาล์ม กากมะพร้าว กากงา และกากถั่วเหลืองได้ (บุญล้อม, 2546)

บทบาทและหน้าที่หลักของเอนไซม์ NSPase ที่ใช้ในอาหารสัตว์ คือการเพิ่มความสามารถในการย่อย NSPs ที่มีอยู่ในธัญพืชเนื่องจากสารดังกล่าวจะทำให้อาหารภายในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เกิดความหนืดเพิ่มมากขึ้น การย่อยได้ของสัตว์ลดลง และส่งผลไปถึงความสามารถในการดูดซึมอาหารของสัตว์ลดลงด้วย (Marquardt, 2004) กลไกการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในอาหารสัตว์จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเอนไซม์ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงกับซับสเตรตไม่เหมือนกัน โดย NSPase ที่นิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์ ได้แก่

เซลลูเลส (cellulase)

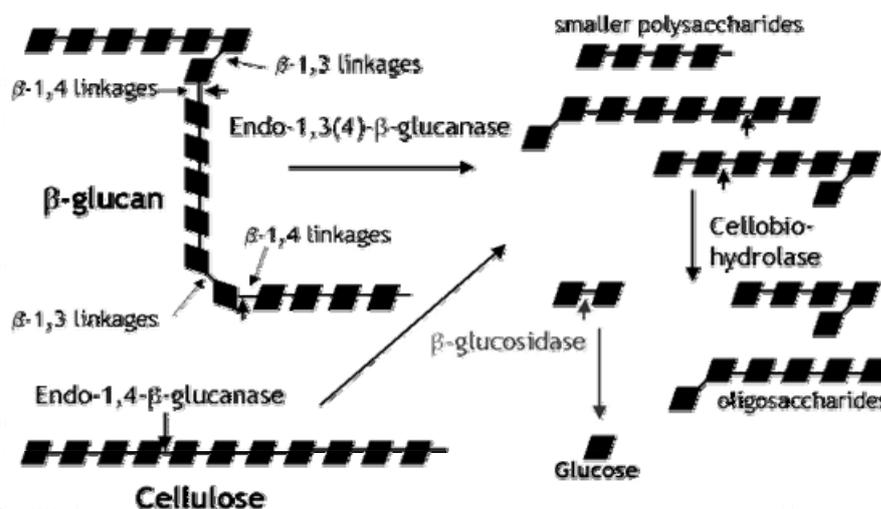
เอนไซม์ cellulase เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลาย cellulose ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช จุลินทรีย์ทั้งเชื้อราและแบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์ cellulase เพื่อย่อย

สลาย cellulose ให้ได้เป็นน้ำตาล glucose ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ cellulase อยู่ในช่วง 45-55°C โดยพบว่า cellulase ยังคงความเสถียรที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลานาน 5 นาที ที่ pH 7.0 สามารถเก็บ cellulase ไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ได้นานหลายปีโดยไม่สูญเสียคุณสมบัติของเอนไซม์ นอกจากนี้ cellulase ยังมีความคงทนต่อ pH ในช่วงระหว่าง 4.0-8.0 ซึ่งค่า pH ที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานอยู่ที่ 5.5-6.0 (ปราณี, 2535) เอนไซม์ cellulase เป็นเอนไซม์ผสม (multicomponent enzyme) ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ชนิดทำงานร่วมกัน ได้แก่

1. Endo- β -1, 4-glucanase หรือ glucanohydrolase ทำหน้าที่ย่อยสลาย cellulose ทั้งในรูปแบบที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ โดยการตัดพันธะที่ตำแหน่ง β -1, 4-glycosidic แบบสุ่มภายในสาย cellulose หรืออนุพันธ์ของ cellulose ทำให้ได้ glucose และ oligomer ชนิด cellobiose เป็นผลิตภัณฑ์หลัก

2. Exo- β -1, 4-glucanase หรือ cellobiohydrolase ทำงานร่วมกับเอนไซม์ endo- β -1, 4-glucanase โดยทำหน้าที่ย่อยสลายสาร polymer ของ β -1, 4-glycosidic จากปลายด้านที่เป็น non-reducing ที่ละโมเลกุลอย่างมีระเบียบและมีการเปลี่ยน configuration ของผลผลิตคือเปลี่ยนจาก β - เป็น α -configuration ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาล cellobiose และ glucose

3. β -glucosidase หรือ cellobiase ทำหน้าที่ย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก endo- β -1, 4-glucanase และ exo- β -1, 4-glucanase โดยการย่อยโมเลกุลของ cellobiose และ cellohexose ได้เป็น glucose นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลาย cellobionic acid ให้เป็น gluconolactone และ glucose ได้อีกด้วย (Wood and Bhat, 1988) ปฏิกริยาการย่อยสลาย substrate ของ cellulase แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กิจกรรมของ cellulase

ที่มา: Adisseo company (2008)

β -กลูแคนเนส (β -glucanase)

คุณสมบัติในการเป็นสารยับยั้งโภชนะของ glucan นั้นเป็นที่ทราบดีมาเป็นระยะเวลาาน คุณสมบัติดังกล่าวเกิดจากความสามารถในการทำให้เกิดความหนืดของอาหารขณะที่อยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์ ทำให้อัตราการดูดซึมสารอาหารลดลง (Bedford and Partridge, 2001)

เอนไซม์ β -glucanase สามารถย่อยพันธะที่อยู่ภายในสายโซ่หลักของ β -glucan ได้ เอนไซม์ชนิดนี้สามารถสังเคราะห์ได้จากทั้งเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันของปฏิกิริยาต่อ substrate เพียงเล็กน้อย พบว่าเอนไซม์ β -glucanase จากแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อย β -glucan ในข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ตได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ β -glucanase ที่สังเคราะห์จากเชื้อราจะสามารถย่อย cellulose ได้อีกด้วย (McCleary, 1988)

β -glucanase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายพันธะของ β -glucan ซึ่งเป็นโมเลกุลของ glucose ที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะที่หลากหลาย เช่น 1,4- β -; 1,3- β -; 1,6- β -; 1,3- β - กับ 1,6- β -; 1,3- β - กับ 1,4- β -; และ 1,2- β - กับ 1,4- β - ทำให้โครงสร้างของ β -glucan มีความซับซ้อน พบ β -glucan ได้ในธัญพืชและ endosperm ของเมล็ดธัญพืช ดังนั้นในการย่อยสลาย β -glucan ได้อย่างสมบูรณ์จึงจำเป็นต้องใช้เอนไซม์หลายชนิดทำงานร่วมกัน (Marquardt and Han, 1997)

ไซแลนเนส (xylanase)

เอนไซม์ xylanase มีความสามารถในการย่อย arabinoxylan ในอาหารสัตว์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเป็นสาเหตุที่ทำให้สิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหารของสัตว์มีความหนืดเพิ่มขึ้น หน้าที่หลักของเอนไซม์ xylanase คือ ย่อยสลายพันธะของ xylan ที่มี xylose เป็นโครงสร้างหลักและมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาลต่างๆ ดังนั้นจากโครงสร้างที่ซับซ้อนของ xylan จึงต้องการรูปแบบกิจกรรมของเอนไซม์ที่ประกอบด้วยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิดที่ทำงานร่วมกัน ระหว่างเอนไซม์ที่ย่อยโครงสร้างหลัก ได้แก่ Endo β -1,4-xylan xylohydrolase และ β -xylosidase ส่วนเอนไซม์ที่ย่อยกิ่งก้าน ได้แก่ α -arabinofuranosidase, α -glucuronidase และ acetyl esterase โดยเอนไซม์ทั้งสองกลุ่มจะทำงานร่วมกันในการเปลี่ยน xylan ให้เป็น xylose (Sunna and Antranikien, 1997)

เอนไซม์ที่ย่อยสลาย xylan จัดอยู่ในกลุ่ม glycan hydrolase ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ 1,4-xylopyranosyl linkage ของ arabinoxylan arabino 4-O-methyl-D-glucuronoxylan และ glucuronoxylan เอนไซม์ดังกล่าวนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Endo β -1,4-xylan xylohydrolase (EC 3.2.1.8) เอนไซม์นี้ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ β -1,4 glycosidic ของ xylopyranoside แบบสุ่มโดยจะย่อยสลายโมเลกุลของ xylan ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น xylobiose, xylotriose, xyloetraose ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์และสายพันธุ์จุลินทรีย์ xylanase ยังแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามความสามารถในการย่อยสลาย 1,3-L-arabinoxylan และ arabinoglucuronoxylan คือ

arabinose-liberating endoxylanase เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลาย arabinoxylan และ arabinoglucuronoxylan ตรงตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของ xylose และ arabinose

non arabinose-liberating endoxylanase เป็นเอนไซม์ที่ไม่สามารถย่อยสลาย arabinoxylan และ arabinoglucuronoxylan ตรงตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของ xylose และ arabinose ได้

2. Exo β -1,4-xylan xylohydrolase หรือเรียกสั้นๆ ว่า β -xylosidase (EC 3.2.1.37) ซึ่งย่อยสลายโมเลกุลของ xylooligosaccharide ซึ่งเกิดจากการย่อยสลาย xylan ด้วยเอนไซม์ xylanase ทำให้ได้โมเลกุลของ xylose โดยที่เอนไซม์นั้นจะย่อยสลายโมเลกุลของ xylooligosaccharide ของน้ำตาล

xylose จากปลาย non-reducing ทีละ โมเลกุล นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกกลุ่มหนึ่งที่แม้จะไม่ได้ย่อย โมเลกุลหลักของ xylan แต่เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่มีความสำคัญ ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายโซ่ด้านข้าง ของโมเลกุล xylan ทำให้การย่อยสลายโมเลกุลของ xylan เกิดความสมบูรณ์ ผลของการทำงานของ เอนไซม์จะทำให้ความหนืดของอาหารลดลง สัตว์จึงสามารถดูดซึมสารอาหารส่วนที่ได้จากการย่อย ของเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น มักใช้ xylanase ในการช่วยย่อยสลาย xylan และทำให้สัตว์ ดูดซึมสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารให้ดีขึ้น เช่น การใช้เอนไซม์ xylanase เติมลงไป ในอาหารสัตว์ปีกที่มี ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และเมล็ดธัญพืชต่างๆ เป็นองค์ประกอบในอาหาร ซึ่งจะช่วยลดความหนืดภายใน ลำไส้ลง และทำให้สัตว์ปีกมีน้ำหนักตัวเพิ่มมากขึ้น (Sunna and Antranikien, 1997; William, 2000) การใช้เอนไซม์ xylanase ในอาหารสัตว์ยังช่วยลด anti-nutritional effects ของ xylan ที่มีอยู่ในธัญพืช ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้เพิ่มขึ้น ลดความต้องการน้ำ และยังทำให้มูลสัตว์แห้งขึ้นด้วย (Cosson *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกกลุ่มหนึ่งที่แม้จะไม่ได้ย่อยโมเลกุลหลักของ xylan แต่เป็นกลุ่ม ของเอนไซม์ที่มีความสำคัญ ซึ่งทำหน้าที่ย่อยโซ่ด้านข้างของ โมเลกุล xylan ทำให้การย่อยโมเลกุล ของ xylan สมบูรณ์ เอนไซม์เหล่านี้ได้แก่

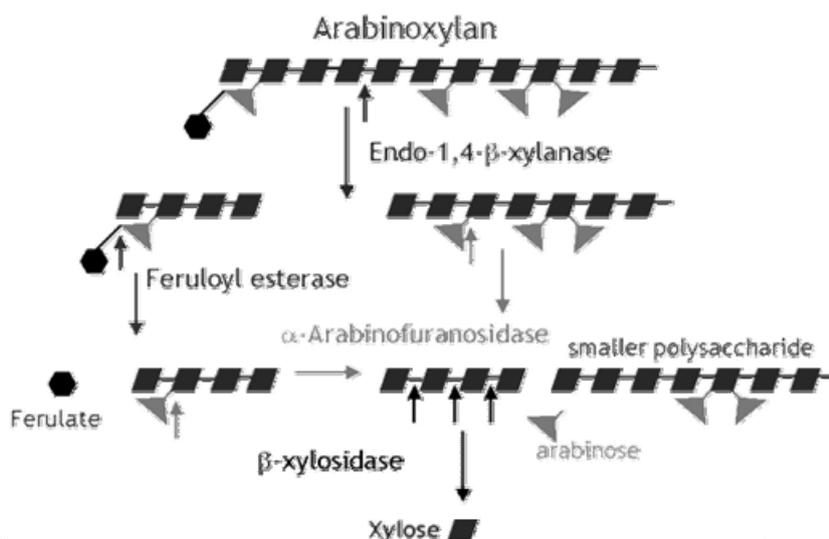
α -glucuronidase (EC 3.2.1.99) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อย 1, 2- α -glucuronoxylan และ 4-O-methyl-D-glucuronic acid ตรงตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่าง โมเลกุลของ xylose และ glucuronic acid มักตรวจพบกิจกรรมของ α -glucuronidase ในเชื้อราและแบคทีเรีย แต่การศึกษาถึงคุณสมบัติ ของเอนไซม์ยังมีน้อย

α -arabinofuranosidase (EC 3.2.1.55) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อย 1, 3- α -arabinofuranoxylan ตรงตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่าง โมเลกุลของ xylose และ arabinose

Acetyl esterase หรือ acetyl xylan esterase (EC 3.2.1.72) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อย 1,2-acetyl group ตรงตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่าง โมเลกุลของ xylose และ acetyl group (Collins *et al.*, 2004)

สาย polysaccharides ที่พบในส่วนของ endosperm และผนังเซลล์ของข้าวสาลีและข้าวไรย์ คือ arabinoxylan ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 2-5 % ของน้ำหนักทั้งหมด โดยประกอบไปด้วยส่วน

ที่ละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ร่วมกัน อย่างไรก็ตามทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถที่จะดูดซับน้ำไว้ได้ถึง 10 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งคุณสมบัตินี้ก่อให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกันกับ β -glucan แต่การนำเอนไซม์ xylanase มาใช้สามารถแก้ปัญหานี้ได้ (Annison and Choct, 1991) ซึ่งปฏิกริยาในการย่อยสลาย substrate ของ xylanase แสดงในภาพที่ 8

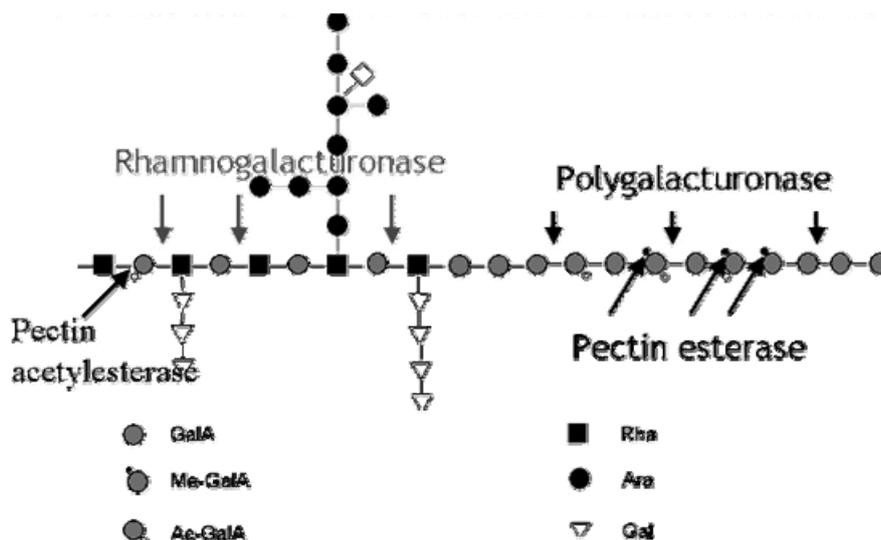


ภาพที่ 8 กิจกรรรมของ xylanase

ที่มา: Adisseo company (2008)

เพกตินเนส (pectinase)

เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายประกอบ pectin (pectic substance), pectic acid และสารประกอบ oligo-D-galacturonate ได้ด้วยปฏิกริยาต่างๆ กัน เช่น ปฏิกริยา hydrolysis ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีหมู่ reducing และปฏิกริยา trans-elimination ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพันธะคู่เป็นต้น ซึ่งสามารถเกิดปฏิกริยาได้ทั้งแบบสุ่มและแบบตัดพันธะจากด้านปลาย โดยปฏิกริยาการย่อยแบบสุ่มจัดเป็นกลุ่ม endo-enzyme ส่วนปฏิกริยาการย่อยจากด้านปลายจัดเป็นกลุ่ม exo-enzyme พบว่าจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถสร้างเอนไซม์ pectinase ได้ (เลอติษณ์, 2544) ปฏิกริยาในการย่อยสลาย substrate ของ pectinase แสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กิจกรรมของ pectinase

ที่มา: Adisseo company (2008)

β -แมนแนนเนส (β -mannanase)

β -mannan ประกอบด้วยน้ำตาล mannose หลายโมเลกุลจับกันด้วยพันธะแบบ β -1, 4 และยังจับกับ galactose ด้วยพันธะแบบ α -1, 6 ด้วย ดังนั้นจึงเรียกชื่อ polysaccharide ชนิดนี้ว่า β -galactomannan แต่ถ้าจับกับ glucose ก็จะเรียกว่า β -glucomannan แต่เนื่องจากร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่มีเอนไซม์ย่อยพันธะเหล่านี้ ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ β -mannanase ลงไป จะช่วยให้สัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถย่อยน้ำตาลดังกล่าวและใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น (บุญล้อม, 2546)

กรดไฟติก (phytic acid) หรือสารไฟเตท (phytate)

ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เป็นส่วนประกอบในเนื้อเยื่อพืชจะอยู่ในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์ แต่เป็นรูปที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้น้อย โดยพบในรูปของกรดไฟติก (phytic acid) ซึ่งเกิดจากหมู่ฟอสเฟต 6 หมู่ จับกับหมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวน myo-inositol ด้วยพันธะเอสเทอร์ มีชื่อเรียกทางเคมีว่า myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexakis dihydrogen phosphate โดยในหนึ่งโมเลกุลของ phytic acid จะมีอออนลบอิสระ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของออกซิเจนอิสระที่อยู่ระหว่างหมู่ฟอสเฟตแต่ละหมู่ ทำให้เกิดการจับกับอออนบวกอิสระ จากโครงสร้างโมเลกุลทำให้ phytic acid มีคุณสมบัติใน

การเป็นสารคีเลต (chelate) (Maenz, 2001) แร่ธาตุที่มีประจุบวกทั้งชนิดที่เป็นประจุบวก 2 และ 3 เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{3+} Zn^{2+} Mn^{2+} Cu^{2+} จะสามารถเข้าไปจับกับ phytic acid ด้วยพันธะโคออดิเนตที่แข็งแรง ทำให้เกิดรูป phytate-mineral complex เป็นสารประกอบของเกลือที่ไม่ละลายน้ำ สัตว์ไม่สามารถดูดซึมเกลือของ phytic acid ที่เรียกว่า phytate ได้ จึงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุเหล่านี้ลดลง (Ravindran *et al.*, 2001) ซึ่งนอกจาก phytic acid จะจับกับประจุบวกของแร่ธาตุแล้วยังสามารถจับกับประจุบวกของสารประกอบอื่นๆ ได้ เช่น โปรตีน ไขมัน และแป้ง โดยในสภาวะที่ค่า pH ต่ำ โปรตีนซึ่งมีประจุบวกจะจับกับประจุลบของ phytate ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อค่า pH สูงขึ้น โปรตีนจะกลายเป็นประจุลบ ดังนั้นจึงมีแร่ธาตุจำพวกที่มีประจุบวกเข้ามาเชื่อมประจุลบของ โปรตีนและ phytate เข้าด้วยกันทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนรูปไป จึงทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนลดลง (Yi *et al.*, 1996)

ในธรรมชาติพืชทั่วไปจะมีการสะสมฟอสฟอรัสในรูป phytate ประมาณ 60-80 % ของฟอสฟอรัสทั้งหมด และพบว่าที่เมล็ดมีการสะสมของ phytic acid มากกว่าส่วนอื่น ๆ โดยบริเวณที่พบ phytic acid นั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เช่น ข้าวจะพบ phytic acid บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนมาก ข้าวโพดมักจะพบมากในเซลล์สืบพันธุ์ (germ) และเมล็ดถั่วมักจะพบมากในส่วนใบเลี้ยง เป็นต้น (Pallaut and Rimbach, 1995)

เอนไซม์ไฟเตส (Phytase)

เอนไซม์ phytase เป็นเอนไซม์ที่สามารถสลายพันธะเอสเทอร์ของ phytic acid และปลดปล่อยหมู่ orthophosphate ที่ละลายน้ำทำให้ได้สารตัวกลางออกมา และจะสลายพันธะต่อไปได้ สารตัวกลางที่มีฟอสเฟตลดลงตามลำดับ จนในที่สุดจะเหลือเฉพาะ myo-inositol อีสเตร และไดฟอสเฟตทั้งหมด 6 โมเลกุล (Baruah *et al.* 2004) เอนไซม์ phytase ที่ใช้ในการย่อยสลาย phytate นั้นถูกผลิตโดยจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ (Maenz, 2001) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (*Aerobacter aerogenes* หรือ *Enterobacter aerogenes*) ได้แก่ จุลินทรีย์ที่อยู่ในตระกูล *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella aerogenes* และ *Pseudomonas sp.* เป็นต้น และเชื้อราที่มักใช้ในการผลิตเอนไซม์ phytase คือ เชื้อราในตระกูล *Aspergillus genus* (*Aspergillus niger*, *Aspergillus ficuum*) ซึ่งเชื้อรา *Aspergillus ficuum* มีการเพิ่มจำนวนเซลล์และให้ความเข้มข้นของเอนไซม์ phytase สูงที่สุด แต่เอนไซม์ดังกล่าวอาจถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน (Sebastian *et al.*, 1998)

การทำงานของเอนไซม์ phytase ไม่ว่าจะได้จากพืช หรือจากจุลินทรีย์ พบว่ามีการทำงานหลักอยู่ที่ส่วนต้นของทางเดินอาหาร โดยพบมากที่บริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม (duodenum) ของสุกร ในขณะที่พบการทำงานของเอนไซม์ phytase เพียงเล็กน้อยหรืออาจไม่พบเลยในลำไส้เล็กส่วนไอเลียม การที่เอนไซม์ phytase มีการทำงานเพียงเล็กน้อยที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียมอาจเนื่องมาจากระดับ pH ลำไส้มีค่าสูง (6.5-7.6) อย่างไรก็ตาม phytase จำนวน 40-50 เปอร์เซ็นต์จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ phytase ที่ส่วนต้นของระบบทางเดินอาหาร และส่วนที่เหลือเกือบทั้งหมดจะถูกย่อยโดยกิจกรรมของพวกแบคทีเรีย (Jongbloed *et al.*, 1992) ทั้งนี้พบว่าในไก่จะมีการทำงานของเอนไซม์ phytase ในบริเวณกระเพาะพักและกระเพาะแท้เป็นหลัก (Maeng and Classen, 1998)

ผลจากการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมที่มีต่อลูกสุกร

เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน การทำให้เอนไซม์ที่เสริมลงในอาหารเป็นประโยชน์มากที่สุดจึงสามารถทำได้โดยการใช้เอนไซม์ชนิดรวม เพราะเอนไซม์ชนิดรวมนั้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับเป้าหมายได้หลากหลายกว่าเอนไซม์เพียงชนิดเดียว จึงเป็นการทำงานแบบส่งเสริมกัน ทำให้เกิดประโยชน์แก่ตัวสัตว์มากขึ้น (Olukosi *et al.*, 2007)

Pluske *et al.* (1999) รายงานว่า เมื่อเสริมเอนไซม์ชนิดรวมซึ่งประกอบไปด้วยเอนไซม์ protease, cellulase, pentosanase, α -galactosidase และ amylase ลงในอาหารของลูกสุกรที่มีกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบจะทำให้ค่าการย่อยได้ของพลังงานรวมและอินทรีย์วัตถุเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวทำให้มีการปลดปล่อยโปรตีนออกจากเชื้อหุ้มเมล็ดมากขึ้น และยังช่วยย่อยส่วนที่เป็น oligosaccharides ในกากถั่วเหลืองด้วย ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับ Linderman *et al.* (1997) ที่กล่าวว่า การใช้เอนไซม์ชนิดเดียวกันนี้เสริมลงในอาหารที่ประกอบด้วยแป้งสาลีและ รำสาลีจะทำให้อัตราการเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ย และอัตราแลกน้ำหนักของสุกรรุ่นดีขึ้น นอกจากนี้ Cadogan *et al.* (2003) ยังพบว่าการเสริมเอนไซม์ NSPase ลงในอาหารลูกสุกรจะทำให้การเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ยและปริมาณอาหารที่กินต่อวันโดยเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น การเสริม NSPase ยังทำให้ลูกสุกรอนุบาลมีค่าการย่อยได้สูงสุดทวารของวัตถุแห้งและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (Mavromichalis *et al.*, 2000) และยังทำให้ค่าการย่อยได้ของพลังงานในอาหารที่มีกากถั่วเหลืองและข้าวสาลีเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Li *et al.*, 1996)

ผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับ Officer (1995) ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารที่มีข้าวสาลีและกากถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบ ไม่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านมดีขึ้นแต่อย่างใด และ Thacker *et al.* (1988) ที่รายงานในลักษณะเดียวกันว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมซึ่งประกอบด้วย β -glucanase, pentosanase, pectinase, cellulase และ amylase ในอาหารสูตรข้าวบาร์เลย์ ไม่สามารถทำให้สุกรขุนมีประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น ในขณะที่ Omogbenigun *et al.* (2004) กลับพบว่าการเสริมเอนไซม์ cellulase, galactanase, mannanase และ pectinase ร่วมกันจะทำให้ลูกสุกรมีประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น

Graham *et al.* (1988) พบว่า ลูกสุกรที่มีน้ำหนัก 20 กิโลกรัมมีการตอบสนองต่อการเสริมเอนไซม์ β -glucanase ได้ดีกว่าสุกรที่มีน้ำหนักในช่วง 60-95 กิโลกรัม เนื่องจากในสุกรที่มีอายุมากจะมีจำนวนจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารมากขึ้น ทำให้เกิดกิจกรรมในการย่อยสลาย NSPs ได้มากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของปลายลำไส้ใหญ่ สอดคล้องกับ Diebold *et al.* (2004) ซึ่งพบว่า ลูกสุกรที่มีอายุน้อยจะมีทางเดินอาหารที่เจริญยังไม่เต็มที่และไม่สามารถย่อย NSPs ได้ แต่เมื่อสุกรโตขึ้นจะมีทางเดินอาหารที่เจริญเต็มที่และมีการย่อย NSPs ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์มากขึ้น ด้วยเหตุนี้การเสริม xylanase จึงส่งผลต่อค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุทวารน้อยมากเมื่อสุกรโตเต็มที่แล้ว ในขณะที่ Fang *et al.* (2007) พบว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase ให้แก่สุกรรุ่น สามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ต่อวันให้เพิ่มขึ้น 40-50 กรัมต่อวัน แต่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรหย่านมลูกผสมสามสายพันธุ์ (ลาร์จไวท์xแลนดร์เรซxครอก) คณะเพศ อายุ 28 วัน จำนวน 100 ตัว แบ่งสัตว์ทดลองออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มประกอบไปด้วย 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ตัว โดยเลี้ยงในกรงเบตเตอร์ขนาด 1.5x1.5 ตารางเมตร ที่เป็นโลหะทั้งหมด พื้นเป็นสแลทลาดถัก ยกสูงจากพื้น ให้กินอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ สุ่มสัตว์แต่ละกลุ่มให้กินอาหารทดลองจนมีอายุ 56 วัน

2. อาหารทดลอง

สัตว์ในกลุ่มที่ 1 จะกินอาหารสูตรควบคุมซึ่งมีมันเส้น กากถั่วเหลือง ถั่วเหลืองเอ็กทรา และปลาป่นเป็นส่วนประกอบหลัก (อาหารสูตร T1) กลุ่มที่ 2 จะกินอาหารสูตร T1 ที่เสริมด้วย เอนไซม์ชนิดรวมในปริมาณ 0.2 กก./ตัน (อาหารสูตร T2) กลุ่มที่ 3 จะกินอาหารสูตร T1 ที่ถูกปรับ ให้มี ME ลดลง 75 กิโลแคลอรี/กก., แคลเซียมลดลง 0.1 % และฟอสฟอรัสลดลง 0.1 % (อาหารสูตร T3) กลุ่มที่ 4 จะกินอาหารสูตร T3 ที่เสริมด้วยเอนไซม์ชนิดรวมในปริมาณ 0.2 กก./ตัน (อาหารสูตร T4) อาหารสูตร T1 ประกอบสูตรขึ้นจากความต้องการของสัตว์ตามที่ อุทัย (2537) แนะนำไว้

เอนไซม์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เอนไซม์สำเร็จรูปทางการค้า Allzyme SSF[®] ผลิตโดย ALLTECH, INC., USA ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิดรวม ประกอบด้วยเอนไซม์ทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ β -Glucanase 200 หน่วย/กรัม, Cellulase 40 หน่วย/กรัม, Pectinase 4,000 หน่วย/กรัม, Xylanase 100 หน่วย/กรัม, Phytase 300หน่วย/กรัม, Amylase 30 หน่วย/กรัม และ Protease 700 หน่วย/กรัม ที่ผลิตโดยกรรมวิธีการหมักแบบ SSF (solid state fermentation) ด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* โดยเลี้ยงเชื้อราชนิดนี้ให้เจริญด้วยรำข้าวสาลี ซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำปริมาณการใช้ไว้ที่ระดับ 0.02 % (200 ppm) ในอาหาร โดยที่ส่วนประกอบของอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง สูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรอาหารและองค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองในสุกรระยะหย่านม

วัตถุดิบ	T1	T2	T3	T4
รำสกัดน้ำมัน	0.00	0.00	1.50	1.50
มันเส้น	42.70	42.70	44.00	44.00
กากถั่วเหลือง (โปรตีน 44 %)	15.00	15.00	15.00	15.00
ถั่วเหลืองเอ็กทรา	30.00	30.00	29.20	29.20
ปลาป่น (โปรตีน 58 %)	5.00	5.00	5.00	5.00
น้ำมันรำ	3.50	3.50	2.50	2.50
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	2.00	2.00	1.50	1.50
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	0.80	0.80	0.80	0.80
เกลือ	0.35	0.35	0.35	0.35
แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์	0.10	0.10	0.10	0.10
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.25	0.25	0.25	0.25
แอล-ทรีโอนีน	0.05	0.05	0.05	0.05
พรีมิกซ์ลูกสุกร ¹	0.25	0.25	0.25	0.25
เอนไซม์ชนิดรวม	0.00	0.02	0.00	0.02
รวม	100.00	100.02	100.00	100.02
องค์ประกอบทางโภชนาโดยการคำนวณ				
โปรตีนรวม (%)	22.02	22.02	22.06	22.06
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/กก.)	3,415	3,415	3,340	3,340
แคลเซียม (%)	1.05	1.05	0.95	0.95
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (%)	0.80	0.80	0.69	0.69
ไลซีน (%)	1.44	1.44	1.44	1.44
เมทไธโอนีน+ซิสทีน (%)	0.88	0.88	0.88	0.88
ทรีโตนีน (%)	0.28	0.28	0.27	0.27
ทรีโอนีน (%)	0.95	0.95	0.95	0.95
ไขมัน (%)	9.64	9.64	8.05	8.05
เยื่อใย (%)	4.31	4.31	4.47	4.47

¹พรีมิกซ์ 10 กก. ประกอบด้วย ไวตามิน: เอ 15 ล้านหน่วย; ดี₃ 2.5 ล้านหน่วย; อี 24,000 หน่วย; เค, 10 กรัม; บี₁ 3 กรัม; บี₂ 8 กรัม; บี₆ 5 กรัม; บี₁₂ 45 มก., กรดโฟลิก 500 มก., ไบโอดีน 25 มก., โคลีนคลอไรด์ 200 กรัม, ทองแดง 180 กรัม, แมงกานีส 75 กรัม, ซีลีเนียม 10 มก., สังกะสี 120 กรัม, เหล็ก 150 กรัม, ไอโอดีน 2 กรัม, สารถนอมคุณภาพอาหาร 1.25 กรัม และเติมสีจันครบ 10 กก.

3. อุปกรณ์และสารเคมี

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี และ โภชนะของอาหารทดลอง สิ่งย่อย และสิ่งขับถ่าย

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับการศึกษากายวิภาค (histology) ของเนื้อเยื่อบุผิวลำไส้ลูกสุกร

3.3 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพื่อหาจำนวนประชากรจุลินทรีย์จากตัวอย่างของสิ่งย่อยในลำไส้เล็ก

3.4 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับตรวจหาปริมาณของ volatile fatty acid (VFA) โดยวิธี gas chromatography

3.5 เครื่องวัด pH สำหรับตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบส ของสิ่งย่อยในลำไส้เล็ก

3.6 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างสิ่งย่อย และผนังลำไส้

3.7 เครื่องมืออื่นๆ เช่น เครื่องผสมอาหาร เครื่องชั่งน้ำหนักสุกร กล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด Completely Randomized Design (CRD) ทำการสุ่มสุกรหย่านมลูกผสมสามสายพันธุ์ (ลาร์จไวท์xแลนด์เรซxคูรอก) คละเพศ อายุ 28 วันจำนวน 100 ตัว แบ่งลูกสุกรดังกล่าวออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 25 ตัว สุ่มลูกสุกรหย่านมแต่ละกลุ่มเข้าเลี้ยงในคอกขังรวมจำนวน 5 คอก (ซ้ำ) คอกละ 5 ตัว

2. การให้น้ำ และอาหาร

อาหารทดลองที่ใช้เลี้ยงลูกสุกรหย่านมแยกตามสูตรอาหารมีทั้งหมด 4 สูตร ให้อาหารแก่ลูกสุกร 4 เวลาคือ 07.00, 10.00, 13.00 และ 16.00 น. โดยให้มีอาหารเหลือในรางเพื่อให้ลูกสุกรสามารถกินอาหารได้เต็มที่ (*ad libitum*) และ กินน้ำได้ตลอดเวลาจากที่ให้น้ำอัตโนมัติ

3. การหาค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุในระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม

3.1 การเก็บตัวอย่าง

เมื่อลูกสุกรมีอายุได้ 51 วัน ให้กินอาหารทดลองที่ผสม chromic oxide ในปริมาณ 0.25 % ของอาหาร เพื่อใช้เป็นสารบ่งชี้ค่าการย่อยได้ของโภชนะ เนื่องจาก chromic oxide นั้นไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหาร แล้วให้ลูกสุกรกินอาหารดังกล่าวเป็นระยะเวลา 5 วัน เมื่อลูกสุกรมีอายุ 56 วัน สุ่มลูกสุกรจำนวนหนึ่งแล้วทำการแยกส่วนของทางเดินอาหาร จากนั้นจึงเก็บสิ่งย่อย (digesta) ในลำไส้ใหญ่และลำไส้เล็กเพื่อนำไปวัดองค์ประกอบทางโภชนะและปริมาณของ chromic oxide จากนั้นจึงไปคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะแบบปรากฏในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ โดยสุ่มเก็บจากลูกสุกรที่กินอาหารแต่ละสูตร สูตรละ 10 ตัว (5 คอก คอกละ 2 ตัว) เก็บสิ่งย่อยของระบบทางเดินอาหารใส่ถุงพลาสติกแยกเป็นส่วนๆ นำสิ่งย่อยไปเก็บที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการย่อยได้ของโภชนะที่ส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินอาหารต่อไป

3.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

นำตัวอย่างอาหารทดลอง สิ่งย่อย และสิ่งจับถ่ายไปวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) และความเข้มข้น โครมิกออกไซด์ ตามวิธีของ Bolin *et al.* (1952) นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (digestibility coefficient) ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุในทางเดินอาหาร โดยใช้สมการ

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

4. การหาจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม

4.1 การเก็บตัวอย่าง

จากลูกสุกรที่ถูกฆ่าเพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ในข้อที่ 3 ทำการแบ่งเก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในส่วนของลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ โดยเก็บในถุงพลาสติก แล้วนำไปไว้ในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็ง เพื่อนำไปตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์

4.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

การตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์มีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยชั่งส่วนผสมของอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด นำไปต้มจนละลาย แล้วนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ความร้อนลดลงจนมือจับได้ จึงนำมาเทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

- เชื้อ *E. coli* เลี้ยงในอาหาร coliform agar ตามวิธีของ Christen *et al.* (1992)

- เชื้อ *Lactobacillus spp.* เลี้ยงในอาหาร man rogosa sharpe agar (MRS agar) ตามวิธีของ Renata *et al.* (2004)

- เชื้อ *Bifidobacterium spp.* เลี้ยงในอาหาร Beeren 's agar ตามวิธีของ Beerens (1990)

4.2.2 เจือจางตัวอย่าง โดยชั่งตัวอย่างซึ่งในการทดลองนี้คือ ของเหลวในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ของสัตว์ทดลองจำนวน 10 กรัม ใส่ในสารละลาย diluents ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ได้สารละลายเจือจางเท่ากับ 1:10 เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นใช้ปิเปตดูดสารละลายเจือจางนี้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลาย diluents ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ได้สารละลายเจือจางเท่ากับ 1:10² ทำการเจือจางต่อไปเรื่อยๆ จนได้สารละลายเจือจาง 1:10⁶

4.2.3 การ spread plate โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลาย 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ระดับความเจือจาง 3 ระดับ ที่เชื้อสามารถขึ้นได้ประมาณ 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะเลี้ยง

4.2.4 การบ่มเชื้อ เชื้อ *Escherichia coli* บ่มที่อุณหภูมิ 37°C ในสภาวะที่มีออกซิเจน นาน 24 ชั่วโมง ส่วน *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* บ่มในโถที่ปรับสภาวะอากาศภายในโถให้มีปริมาณออกซิเจนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำโถไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 72 ชั่วโมง

4.2.5 การนับโคโลนี จะเลือกนับจานเพาะเชื้อที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี แล้วนำค่าที่นับได้ไปหาปริมาณเชื้อโดยใช้สมการดังนี้

$$N = \frac{\Sigma C}{V[n1 + 0.1n2]d}$$

V = ปริมาตรของตัวอย่าง

C = จำนวนโคโลนี

n1 = จำนวนของจานเพาะเชื้อของการเจือจางระดับแรก que เลือก

n2 = จำนวนของจานเพาะเชื้อของการเจือจางระดับถัดไป

d = ระดับการเจือจางต่ำสุดที่เลือกนับจำนวนโคโลนี

ปริมาณจุลินทรีย์ที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น จำนวนโคโลนีของเชื้อต่อตัวอย่าง 1 กรัม

(colony forming units per gram; CFU/g)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันสายสั้นในทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม

5.1 การเก็บตัวอย่าง

ลูกสุกรที่ถูกฆ่าเพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ในข้อที่ 3 ทำการแบ่งเก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในส่วนลำไส้ใหญ่ใส่ในถุงพลาสติก ไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันสายสั้น

5.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

การตรวจหาปริมาณของกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid; volatile fatty acid; VFA) การสกัดและการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้นกระทำตามวิธีที่อ้างอิงโดย Jacobasch *et al.* (1999)

5.2.1 การสกัดกรดไขมันสายสั้นจากสิ่งย่อย

นำตัวอย่างสิ่งย่อยที่แช่แข็งมาละลายที่ 4°C ตลอดคืน ชั่งตัวอย่างปริมาณ 200 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่น 1-2 เท่าตามปริมาตร นำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 20,000 g นาน 20 นาที ปิเปตสารละลายด้านบน ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในขวดเติม isobutyrate จำนวน 25 ไมโครลิตร 0.36 M perchloric acid ปริมาตร 280 ไมโครลิตร และ 1 M sodium hydroxide ปริมาตร 270 ไมโครลิตร ปิดฝาขวด นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C เติม 5 M formic acid ปริมาตร 150 ไมโครลิตร และ diethylether ปริมาตร 600 ไมโครลิตร ปิดฝาขวดนำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex กรองสารละลายอินทรีย์ลงในขวดปิดผนึกทันที

5.2.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น

ฉีดตัวอย่างสิ่งสกัดจำนวน 1 ไมโครลิตร เข้าไปใน gas chromatography chropack (cp 9001) ซึ่งมี capillary column ชนิด WCOT fused silica CP-wax 52 CB (50 m \times 0.32 mm) ใช้ฮีเลียมเป็น mobile phase ด้วยอัตรา 10 มิลลิลิตร/นาที ทำการวัดที่อุณหภูมิ 125°C โดย

ความเข้มข้นของกรดไขมันสายสั้น (กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก) ที่วิเคราะห์ได้ จะมีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm)

6. การหาค่าความเป็นกรด-เบส ในทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม

6.1 การเก็บตัวอย่าง

จากลูกสุกรที่ถูกฆ่าเพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ในข้อที่ 3 ทำการแบ่งเก็บตัวอย่างสิ่งย่อย ในส่วนลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ใส่ในถุงพลาสติก แล้วนำไปตรวจวัดหาความเป็นกรด-เบส ในทางเดินอาหารทั้งสองส่วน

6.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

หาระดับความเป็นกรด-เบสจากตัวอย่างของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ โดยใช้เครื่อง pH meter

7. การตรวจสอบลักษณะของเนื้อเยื่อในลำไส้ของลูกสุกรหย่านม

7.1 การเก็บตัวอย่าง

ลูกสุกรที่ถูกฆ่าเพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ในข้อที่ 3 ทำการแบ่งเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อลำไส้เล็กส่วนไอเลียม โดยตัดด้วยใบมีดผ่าตัด ให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ล้างใน phosphate-buffer saline (PBS) ที่มีอุณหภูมิ 4°C และต้อง fixed ให้เร็วที่สุดเพื่อรักษาสภาพของเนื้อเยื่อให้คงที่มากที่สุด โดยใส่ลงในสาร fixative คือ ฟอรัมาลิน 10 เปอร์เซ็นต์ (Neutral buffer formalin) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป

7.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

การตรวจเนื้อเยื่อไวรัสมีขั้นตอน ดังนี้

7.2.1 ล้าง fixative ออก โดยการใช้น้ำประปาไหลผ่าน

7.2.2 นำมาผ่านกระบวนการเตรียมเนื้อเยื่อ โดยใช้เครื่อง automatic tissue processor มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- dehydration เป็นขบวนการดึงเอาน้ำออกจากเนื้อเยื่อ เพื่อให้พาราฟินเข้าไปแทนที่น้ำได้ สารเคมีที่ใช้ดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ คือแอลกอฮอล์ โดยใช้แอลกอฮอล์เปอร์เซ็นต์ต่ำไปเปอร์เซ็นต์สูง โดยเริ่มจาก 80 เปอร์เซ็นต์ 1 ครั้ง 95 เปอร์เซ็นต์ 2 ครั้ง และ 100 เปอร์เซ็นต์ 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะแช่เนื้อเยื่อนาน 1-2 ชั่วโมง

- clearing เนื่องจากแอลกอฮอล์ไม่ละลายรวมกับพาราฟินจึงต้องเอา clearing agent เข้าไปแทนที่แอลกอฮอล์ จะใช้ xylene โดยนำชิ้นเนื้อแช่ใน clearing agent 3 ครั้งๆ ละ 1 ถึง 2 ชั่วโมง

- infiltration จะดึงเอา clearing agent ออกเพื่อให้พาราฟินแทรกซึมเข้าไปแทนที่พาราฟินที่ใช้มักมีจุดหลอมเหลว 55-56°C ทำการปรับหม้อต้มพาราฟินให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลว ถ้าอุณหภูมิเกินจุดหลอมเหลวมากกว่า 5°C จะทำให้เนื้อเยื่อตัวอย่างหดมาก และแข็งเกินไป ขั้นตอนนี้บางครั้งต้องใช้ตู้สุญญากาศช่วย เพื่อดูดเอาฟองอากาศในเนื้อเยื่อออก ทำให้พาราฟินแทรกซึมไปได้เต็มทุกส่วนของเนื้อเยื่อ นำเอาชิ้นเนื้อแช่ในพาราฟินหลอมเหลว 3 ครั้งๆ ละ 1-2 ชั่วโมง

7.2.3 embedding คือขั้นตอนการเอาชิ้นเนื้อฝังในพาราฟิน จะทำการจัดชิ้นเนื้อให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการภายในถ้วยสแตนเลส แล้วเทพาราฟินทับชิ้นเนื้อให้มิด ปล่อยให้เย็นเมื่อพาราฟินแข็งตัวจึงแกะออก

7.2.4 sectioning นำ block พาราฟินที่มีชิ้นเนื้อมาตัดแต่ง นำเข้าเครื่อง rotary microtome ที่ความหนา 5 ไมครอน

7.2.5 การติด section บนสไลด์ โดยนำแผ่น section มาลอยในหม้อน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของพาราฟินเล็กน้อย (ประมาณ 45-50°C) ปลอ่ยให้ section ยึดตัวเต็มทีเอาสไลด์ที่ทำด้วย adhesive จุ่มลงไปใ้ในน้ำแล้วช้อน section ติดสไลด์ขึ้นมาจัดตำแหน่ง section บนสไลด์ให้พอเหมาะแล้วปลอ่ยให้แห้ง

7.2.6 การเติมน้ำเข้าไปในเนื้อเยื่อ (hydration) คือการละลายเอาพาราฟินออกจากเนื้อเยื่อ เพื่อให้ น้ำเข้าไปแทนที่ โดยนำสไลด์เนื้อเยื่อไปจุ่มใน

- xylene 3 ครั้งๆ ละ 2 นาที
- 100 % แอลกอฮอล์ 3 ครั้งๆ ละ 2 นาที
- 95 % แอลกอฮอล์ 2 ครั้งๆ ละ 2 นาที
- 80 % แอลกอฮอล์ 1 ครั้งๆ ละ 1 นาที
- จุ่มในน้ำประปา 2-3 ครั้ง

7.2.7 การย้อมสีเนื้อเยื่อ (staining) จะใช้ hematoxylin และ eosin ซึ่ง hematoxylin มีคุณสมบัติเป็น basic dye ทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อที่มีกรดเป็นส่วนประกอบอยู่ภายใน ส่วน eosin มีคุณสมบัติ เป็น acid dye จะย้อมติดเนื้อเยื่อส่วนที่มีเบสเป็นองค์ประกอบ

7.2.8 ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยวัดความสูงวิลไล (วัดจาก brush-border membrane ถึง basolateral membrane) วัดความกว้างวิลไล (ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูง) วัดพื้นที่หน้าตัดวิลไล (ผลคูณระหว่างความสูงและความกว้างของวิลไล) และวัดความลึกคริปต์ (วัดจากฐานของคริปต์ ที่ basement membrane ถึงปาก) (Geyra *et al.*, 2001) โดยจะสุ่มวัดจากวิลไลและคริปต์ จำนวน 15 จุด จาก 3 ตำแหน่งในแต่ละสไลด์เนื้อเยื่อ ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย objective 10X

8. การวัดค่าสมรรถภาพการผลิตในลูกสุกรหย่านม

8.1 การบันทึกข้อมูล

บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของสัตว์ทดลอง น้ำหนักสุดท้ายของสัตว์ทดลอง ปริมาณอาหารที่กินและที่เหลือ น้ำหนักลูกสุกรที่ตาย สุขภาพของสัตว์ อัตราการตาย และลักษณะของมูล ไว้ตลอดการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิต

8.2 การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อตัว (กก.)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวรวมเมื่อจบการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวรวมเมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{จำนวนลูกสุกรทั้งหมด}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (กก.)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้} - \text{ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนลูกสุกรทั้งหมด}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่ม}}$$

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนลูกสุกรที่ตาย}}{\text{จำนวนลูกสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

9. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ศึกษาระหว่างปัจจัย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ใน โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

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

โดยที่ $i = 1, 2, 3, 4$ และ $j = 1, 2, 3, 4, 5$

เมื่อ	Y_{ij}	= ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
	μ	= ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง
	τ_i	= อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ที่ i
	ϵ_{ij}	= ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่ทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางโภชนาการ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการ อาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวจากสถิติเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางโภชนาการ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
3. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเวชศาสตร์ สัตว์เศรษฐกิจ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
4. ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
5. ฟาร์มสุกรของคุณบุญส่ง แซ่ลิ้ม เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรในจังหวัดนครปฐม ซึ่งเอื้อเพื่อสถานที่ในการทดลอง

ระยะเวลาการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 และสิ้นสุดการทดลองเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552

แหล่งทุนสนับสนุน

ได้รับเงินทุนสนับสนุนจาก ALLTECH, INC. ประเทศสหรัฐอเมริกา

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อค่าการย่อยได้ของ วัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุในลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารลูกสุกรหย่านม แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบทางโภชนาจากการวิเคราะห์อาหารทุกสุตรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยอาหารสุตร T1 และ T2 มีองค์ประกอบทางโภชนาที่ใกล้เคียงกันมาก เช่นเดียวกับอาหารสุตร T3 และ T4 เนื่องจากปริมาณของเอนไซม์ที่เสริมลงในอาหารสุตร T2 และ T4 มีน้อยมาก กล่าวคือ เพียง 200 กรัม/ตัน หรือเพียง 200 ppm เท่านั้น การเสริมเอนไซม์ลงในอาหารจึงส่งผลต่อองค์ประกอบทางโภชนาของอาหารน้อยมาก เช่นเดียวกับกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารลูกสุกรหย่านม

องค์ประกอบทาง โภชนา	T1	T2	T3	T4
ความชื้น (%)	9.59	9.56	9.24	9.06
วัตถุแห้ง (%)	90.41	90.44	90.76	90.94
โปรตีนรวม (%)	22.15	22.23	22.37	22.29
ไขมัน (%)	8.9	9.0	8.15	8.3
เยื่อใย (%)	4.28	4.25	4.49	4.51
เถ้า (%)	8.93	9.02	8.25	8.51
แคลเซียม (%)	1.15	1.12	0.97	1.00
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.91	0.93	0.85	0.81
พลังงานรวม (แคลอรี/กก.)	4,382	4,374	4,277	4,291

หลังจากนำสิ่งย่อยจากลำไส้เล็กส่วน ไอลีอัมและลำไส้ใหญ่ไปวัดค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุของลูกสุกร พบว่าลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุตทวาร รวมถึงมีค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุที่สุตทวารมากที่สุด และแตกต่างกับลูกสุกรกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในขณะที่ลูกสุกรในกลุ่ม T4 มีค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุที่สุตทวารมากกว่าลูกสุกรในกลุ่ม T3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าลูกสุกรใน

กลุ่ม T4 มีค่าการย่อยได้ทั้งที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุดทวารใกล้เคียงกับกลุ่ม T1 ด้วย ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมให้แก่ลูกสุกรนั้นสามารถทำให้ลูกสุกรมีค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุดทวารเพิ่มขึ้น แต่จะเห็นผลได้ไม่ชัดเจนเมื่อมีการลดระดับของพลังงาน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในอาหารลง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก และการย่อยได้ที่สุดทวารของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุของลูกสุกรหย่านม (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ลักษณะที่ศึกษา	T1	T2	T3	T4
การย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก				
วัตถุดิบ (%)	88.20 ^b \pm 1.27	90.61 ^a \pm 1.32	86.63 ^b \pm 1.36	88.03 ^b \pm 1.25
อินทรีย์วัตถุ (%)	83.01 ^{ab} \pm 1.53	84.57 ^a \pm 1.27	80.54 ^c \pm 1.43	82.17 ^{bc} \pm 0.86
การย่อยได้ที่สุดทวาร				
วัตถุดิบ (%)	90.20 ^b \pm 0.59	92.21 ^a \pm 1.38	88.50 ^c \pm 1.06	89.56 ^{bc} \pm 1.08
อินทรีย์วัตถุ (%)	84.82 ^b \pm 1.38	87.82 ^a \pm 1.16	82.74 ^c \pm 1.29	84.55 ^b \pm 0.59

^{a,b,c} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เหตุที่การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมให้แก่ลูกสุกรนั้นสามารถทำให้ลูกสุกรมีค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุดทวารเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดรวมนั้นเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ ตั้งแต่การย่อย NSPs หรือองค์ประกอบทางโภชนาอื่นๆ การลดความหนืดของสิ่งย่อย และการทำให้ผนังเซลล์ที่มี NSPs เป็นส่วนประกอบแตกออก ซึ่งทำให้ตัวสัตว์สามารถย่อยและใช้ประโยชน์จากสารอาหารที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น (Simon, 1998)

เมื่อพิจารณาถึงค่าการย่อยได้ระหว่างที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุดทวารพบว่า ลูกสุกรทุกกลุ่มมีค่าการย่อยได้ที่สุดทวารของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุดิบมากกว่าค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก เนื่องจากสารอาหารที่ยังไม่ถูกย่อยและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กจะถูกจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ใช้เป็นอาหาร (Zentek, 1995) จึงทำให้สารอาหารถูกย่อยมากขึ้น ซึ่ง

ในบางครั้งอาจพบว่า การเสริมหรือไม่เสริมเอนไซม์ต่างก็ให้ผลด้านค่าการย่อยได้ที่สุทธวารใกล้เคียงกัน (Noy and Sklan, 1995; Persia and Lilburn, 1998; Zanella *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ Linderman *et al.* (1986) ยังพบว่า การหย่านมลูกสุกรที่อายุ 28 วันนั้นจะทำให้เกิดผลกระทบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ amylase, protease และ lipase โดยทำให้การเกิดกิจกรรมลดลงอย่างกะทันหัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ทำให้ลูกสุกรย่อยและดูดซึมสารอาหารได้น้อยลง รวมถึงอาจทำให้ลูกสุกรท้องเสียได้อีกด้วย แต่การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารของลูกสุกรจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ Jensen *et al.* (1997) พบว่า ลูกสุกรที่มีอายุ 28 วันจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ trypsin, chymotrypsin และ amylase น้อยกว่าที่อายุ 56 วันถึงครึ่งหนึ่ง ด้วยเหตุนี้การที่ลูกสุกรหย่านมได้รับเอนไซม์ชนิดรวมซึ่งมี NSPase, phytase, amylase และ protease เป็นส่วนประกอบจึงสามารถทำให้ NSPs แป้ง และ โปรตีน ถูกย่อยได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมที่มี NSPase เป็นส่วนประกอบ สามารถทำให้ลูกสุกรอนุบาลมีค่าการย่อยได้สุทธวารของวัตถุดิบและใน โตรเจนเพิ่มขึ้น (Mavromichalis *et al.*, 2000), ทำให้ค่าการย่อยได้ของ NSPs เพิ่มขึ้น (Meng *et al.*, 2002), ทำให้ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุและพลังงานรวมเพิ่มขึ้น (Pluske *et al.*, 1999) และทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบที่ปลายลำไส้เล็ก และค่าการย่อยได้สุทธวารของพลังงานเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย (Radcliffe *et al.*, 1999) สอดคล้องกับ Gdala *et al.* (1997) ที่พบว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase ให้แก่สุกรที่มีอายุ 8-12 สัปดาห์ สามารถทำให้สุกรมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ และ NSPs ที่ปลายลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Li *et al.* (1996) ที่ได้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่เป็นการทดลองในลูกสุกรที่มีอายุเพียง 4 สัปดาห์ และสอดคล้องกับผลจากการทดลองของ Omogbenigun *et al.* (2004) ที่พบว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase สามารถทำให้ลูกสุกรมีค่าการย่อยได้ของ NSPs ที่ปลายลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น Yin *et al.* (2001) ยังแสดงให้เห็นว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase นั้นสามารถทำให้ลูกสุกรมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุที่ปลายลำไส้เล็กและที่สุทธวารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ด้วย

การทดลองที่ 2 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง ของลูกสุกรทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า ลูกสุกรที่นำมาใช้ทดลองทุกกลุ่มมีน้ำหนักเมื่อเริ่มทดลองใกล้เคียงกันและแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง

สถิติ แต่หลังจากที่ลูกสุกรกินอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 28 วันแล้ว พบว่าลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีน้ำหนักสุดท้ายโดยเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่ม T1 และ T4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และลูกสุกรในกลุ่ม T4 มีน้ำหนักสุดท้ายโดยเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่ม T3 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรหย่านม (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ลักษณะที่ศึกษา	T1	T2	T3	T4
น้ำหนักเริ่มต้น (กก.)	8.16 ^a \pm 0.09	8.10 ^a \pm 0.07	8.08 ^a \pm 0.04	8.12 ^a \pm 0.09
น้ำหนักสุดท้าย (กก.)	15.78 ^{ab} \pm 1.04	16.66 ^a \pm 0.63	14.86 ^b \pm 0.80	15.6 ^{ab} \pm 0.50
ADFI (กรัม)	635.05 ^{ab} \pm 0.08	691.43 ^a \pm 0.04	593.14 ^b \pm 0.06	636.95 ^{ab} \pm 0.04
ADG (กรัม)	362.86 ^{ab} \pm 0.05	407.24 ^a \pm 0.03	322.86 ^b \pm 0.04	356.19 ^{ab} \pm 0.03
FCR	1.75 ^b \pm 0.04	1.70 ^c \pm 0.03	1.84 ^a \pm 0.03	1.79 ^b \pm 0.01
อัตราการตาย (%)	0	0	0	0

^{a,b,c} อักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงค่า ADFI พบว่า ลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีการกินอาหารต่อวันโดยเฉลี่ยต่างจากลูกสุกรในกลุ่ม T1 อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น เกิดในลักษณะเดียวกันกับความแตกต่างระหว่างลูกสุกรในกลุ่ม T4 กับลูกสุกรในกลุ่ม T3 และยังพบว่าการเสริมเอนไซม์ลงในอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาต่ำกว่าความต้องการของลูกสุกร สามารถทำให้ลูกสุกรหย่านมมีปริมาณการกินอาหารต่อวันโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับลูกสุกรที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์แต่กินอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาเพียงพอต่อความต้องการ ($P>0.05$) เนื่องจากเมื่อสัตว์กินอาหารที่ไม่มีความสมดุลของโภชนา สัตว์จะลดปริมาณอาหารที่กินลงเพื่อลดผลกระทบจากความไม่สมดุลนั้น แต่เอนไซม์สามารถทำให้สารอาหารถูกย่อยได้มากขึ้น จึงสามารถลดผลกระทบดังกล่าวได้และทำให้ลูกสุกรกินอาหารได้มากขึ้นนั่นเอง

จากการที่ลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีปริมาณการกินอาหารโดยเฉลี่ยต่อวันได้มากจึงทำให้มีอัตราการเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ยมากขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ Bedford (2000) ที่กล่าวว่า การเสริม

เอนไซม์ทำให้ลูกสุกรหย่านมมีอัตราการเติบโตสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องมาจากการที่ลูกสุกรกินอาหารได้มากขึ้นด้วย โดย Baidoo and Liu (1998) ได้อธิบายว่า เอนไซม์ทางการค้ามักมี NSPase เป็นส่วนประกอบ และเอนไซม์ดังกล่าวมีผลทำให้สิ่งย่อยในทางเดินอาหารถูกย่อยได้มากขึ้น เมื่อปริมาณสิ่งย่อยค้างอยู่ในทางเดินอาหารลดลง จึงทำให้สัตว์กินอาหารได้มากขึ้น Cadogan *et al.* (2003) ยังพบว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase ลงในอาหารลูกสุกรจะทำให้การเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ย และปริมาณอาหารที่กินต่อวัน โดยเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสุดท้าย การกินอาหารได้ต่อวัน และอัตราการเติบโตต่อวันของลูกสุกรอย่างชัดเจน เพราะหากลูกสุกรกินอาหารได้น้อยก็จะมีอัตราการเติบโตต่ำลงและส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายน้อยลงตามไปด้วย ในทางกลับกัน หากลูกสุกรกินอาหารได้มากขึ้นก็จะมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นและส่งผลให้น้ำหนักสุดท้ายเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าลูกสุกรในกลุ่ม T1 กับ T2 และ T3 กับ T4 จะมีน้ำหนักสุดท้าย, การกินอาหารได้ต่อวัน และอัตราการเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาจากค่า FCR แล้ว พบว่า ลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่าลูกสุกรในกลุ่ม T1, T4 และ T3 ตามลำดับ ($P < 0.05$) โดยลูกสุกรในกลุ่ม T4 มีประสิทธิภาพการใช้อาหารใกล้เคียงกับลูกสุกรในกลุ่ม T1 ($P > 0.05$) แต่ดีกว่าลูกสุกรในกลุ่ม T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

นอกจากนี้ยังพบว่า สมรรถภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้นของลูกสุกรที่กินอาหารเสริมเอนไซม์นั้น เป็นผลมาจากการย่อยได้ที่เพิ่มขึ้นทั้งในการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและการย่อยได้ที่สุดทวารของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุในการทดลองที่ 1 ด้วย ทั้งนี้เพราะการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมที่มี NSPase และ phytase ลงในอาหารลูกสุกรหย่านมมีผลทำให้ลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีค่าการย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กและที่ สุดทวารของวัตถุดิบขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และทำให้ลูกสุกรในกลุ่ม T4 มีค่าการย่อยได้ที่สุดทวารของอินทรีย์วัตถุขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4 จึงทำให้ลูกสุกรในกลุ่ม T2 มีสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่ม T1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และทำให้ลูกสุกรกลุ่ม T4 มีสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่ม T3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน เนื่องจากเมื่อลูกสุกรสามารถย่อยสารอาหารได้มากขึ้น สารอาหารที่ถูกย่อยแล้วเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น จึงทำให้ลูกสุกรมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นตามไปด้วย

จากการที่ลูกสุกรในกลุ่ม T4 ซึ่งกินอาหารที่มีพลังงาน, แคลเซียม และฟอสฟอรัสต่ำมีสมรรถภาพการผลิตใกล้เคียงกับลูกสุกรในกลุ่ม T1 อาจเป็นเพราะเอนไซม์ชนิดรวมที่เสริมลงใน

อาหารสามารถย่อยส่วนของเยื่อใยให้มีขนาดเล็กลง ทำให้เยื่อใยดังกล่าวถูกจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนปลายใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่ายซึ่งมีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ในด้านของการเป็นแหล่งพลังงานแก่ตัวสัตว์ (Jorgensen *et al.*, 1996) และเมื่อส่วนของเยื่อใยถูกย่อยจะทำให้สารอาหารซึ่งอยู่ภายในถูกปลดปล่อยออกสู่ทางเดินอาหาร แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายสัตว์ต่อไป (Linderman *et al.*, 1997) นอกจากนี้เอนไซม์ phytase ยังเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสให้แก่สุกรด้วย (Adeola, 1995; Nasi, 1990) ซึ่งนอกจาก phytase จะเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุแล้ว ยังมีการรายงานว่าการเสริม phytase จะสามารถทำให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรดีขึ้นด้วย (Cromwell *et al.*, 1993; Han *et al.*, 1997) สอดคล้องกับ Olukosi *et al.* (2007) ที่พบว่า เมื่อเสริม phytase ให้แก่ลูกสุกรพร้อมกับ NSPase จะทำให้ลูกสุกรมีอัตราการเติบโตต่อวันเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) และยังพบว่า การใช้เอนไซม์ชนิดรวมทำให้การนำหมู่ออสเฟตออกจาก phytic acid เกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้เอนไซม์ phytase เพียงชนิดเดียว (Zyla *et al.*, 1996) การเสริมเอนไซม์ลงในอาหารเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงควรใช้เอนไซม์ชนิดรวมเพราะเอนไซม์ชนิดรวมนั้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับเป้าหมายได้หลากหลายกว่าเอนไซม์เพียงชนิดเดียว จึงเป็นการทำงานแบบส่งเสริมกัน ทำให้เกิดประโยชน์แก่ตัวสัตว์มากขึ้น (Olukosi *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตาม มีการพบว่าเมื่อลูกสุกรมีอายุมากขึ้นจะสามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารได้มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากที่บริเวณปลายลำไส้เล็กมีการสร้างเอนไซม์ alkaline phosphatase มากขึ้นนั่นเอง (Adeola and King, 2006) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถย่อยสาร phytate ได้เช่นเดียวกับเอนไซม์ phytase แต่เป็นการย่อยด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน (Williams *et al.*, 1985)

จากผลการศึกษาพบว่าลูกสุกรในกลุ่ม T1 ที่กินอาหารสูตรปกติ และกลุ่ม T3 ที่กินอาหารที่มีพลังงาน แคลเซียม และฟอสฟอรัสต่ำกว่า มีน้ำหนักสุดท้าย การกินอาหารได้ต่อวัน และอัตราการเติบโตต่อวันต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่า การลดระดับของพลังงาน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในอาหารลงนั้น ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตเหล่านี้มากนัก อาจเป็นเพราะอาหารที่ประกอบสูตรขึ้นจากความต้องการของลูกสุกรตามที่ อุทัย (2537) แนะนำไว้นั้น มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอต่อความต้องการของลูกสุกร และสามารถครอบคลุมความเสี่ยงจากความผันผวนด้านคุณภาพของวัตถุดิบได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมที่มี NSPase เป็นส่วนประกอบสามารถทำให้ลูกสุกรประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น โดยเฉพาะเอนไซม์ชนิดรวมที่มี cellulase, galactanase, mannanase, pectinase เป็นส่วนประกอบ (Omogbenigun *et al.*, 2004) สอดคล้องกับ Grandhi (2001) ที่พบว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมทางการค้าสามารถทำให้ลูกสุกรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ทำให้การกินได้และการเติบโต

วันเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Officer (1995) กลับพบว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมไม่ทำให้ลูกสุกรหย่านมมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น

การทดลองที่ 3 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารลูกสุกรหย่านม

จากผลการตรวจนับจำนวน โคโลนิของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ลูกสุกรที่กินอาหารทั้ง 4 สูตรมีจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในลำไส้เล็กส่วนไอลีียมและลำไส้ใหญ่ ($P>0.05$) แสดงว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารกลุ่มควบคุมหรือกลุ่มควบคุมเชิงลบนั้นไม่ส่งผลต่อจำนวนประชากรของเชื้อจุลินทรีย์ (ตารางที่ 6) แม้มีการพบว่า เอนไซม์ NSPase สามารถทำให้เกิดสารตั้งต้นที่มีความเหมาะสมต่อการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ และทำให้จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นก็ตาม (Pluske *et al.*, 2002; Vahjen *et al.*, 1998)

ตารางที่ 6 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในสิ่งย่อยที่ลำไส้เล็กส่วนไอลีียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม^a (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ตำแหน่งที่ศึกษา	T1	T2	T3	T4
ลำไส้เล็กส่วนไอลีียม (cfu log ₁₀ /กรัม)				
<i>E. coli</i>	6.67 \pm 0.08	6.75 \pm 0.06	6.69 \pm 0.05	6.69 \pm 0.04
<i>Lactobacillus spp.</i>	7.78 \pm 0.06	7.76 \pm 0.05	7.82 \pm 0.04	7.77 \pm 0.05
<i>Bifidobacterium spp.</i>	6.69 \pm 0.02	6.70 \pm 0.04	6.69 \pm 0.04	6.74 \pm 0.03
ลำไส้ใหญ่ (cfu log ₁₀ /กรัม)				
<i>E. coli</i>	6.87 \pm 0.05	6.88 \pm 0.06	6.92 \pm 0.05	6.85 \pm 0.06
<i>Lactobacillus spp.</i>	8.14 \pm 0.03	8.11 \pm 0.05	8.13 \pm 0.05	8.14 \pm 0.04
<i>Bifidobacterium spp.</i>	6.89 \pm 0.06	6.92 \pm 0.07	6.91 \pm 0.03	6.91 \pm 0.06

^aค่าสังเกตที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากการสังเกตจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ระหว่างทางเดินอาหารทั้งสองตำแหน่ง พบว่า ประชากรของ *Escherichia coli* ในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านมทุกกลุ่ม มีจำนวนใกล้เคียงกับประชากรของ *Bifidobacterium spp.* แต่น้อยกว่าประชากรของ *Lactobacillus spp.* ทั้งในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า ลูกสุกรทุกกลุ่มมีสุขภาพดี ไม่มีอาการท้องเสีย และไม่พบว่ามีลูกสุกรตายจนตลอดการทดลอง เนื่องจากอาหารทุกสูตรที่ใช้ในการทดลองนั้นมีมันเส้นเป็นวัตถุดิบหลัก ด้วยคุณสมบัติที่ดีของมันเส้นคือ สามารถย่อยและดูดซึมได้ง่าย ในส่วนต้นของลำไส้เล็ก จึงทำให้ glucose หลงเหลืออยู่ในส่วนลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนปลาย น้อย จนไม่มี glucose เหลือพอสำหรับจุลินทรีย์ที่หลงเหลือเข้ามาเกี่ยวกับอาหาร โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ เช่น *Salmonella* และ *Escherichia coli* จึงทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเพิ่มจำนวนและเจริญในลำไส้ได้ลดลง (สุวรรณ, 2548; Weurding *et al.*, 2001) นอกจากนี้การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ที่ติดมากับมันเส้น ยังเป็นการส่งเสริมให้มีการเจริญของแลคติกแบคทีเรีย เช่น *Lactobacillus spp.* ในทางเดินอาหารส่วนท้ายมากขึ้น จึงส่งผลให้จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทั้งสองชนิดสูงขึ้น (กานดา, 2546) และเมื่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ก็จะสามารถแก่งแย่งสารอาหารและบริเวณยึดเกาะกับจุลินทรีย์ก่อโรคได้ จึงทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหารมีจำนวนลดลง (Barrow *et al.*, 1980) และจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น *Lactobacillus spp.* ยังสามารถสร้างกรดอินทรีย์, hydrogenperoxide หรือสารยับยั้งแบคทีเรีย (bacteriocin) เพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *E. coli* ได้อีกด้วย (Muralidhara *et al.*, 1977)

นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ทุกชนิดที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียมมีน้อยกว่าที่ลำไส้ใหญ่ เนื่องจากสารอาหารที่ไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยจากลำไส้เล็กจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในส่วนไส้ตั้งและลำไส้ใหญ่ จากนั้นจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จะใช้สารอาหารที่เกิดจากกระบวนการหมักในการเพิ่มจำนวนให้มากขึ้น และยังมีสารอาหารเหลือให้จุลินทรีย์ใช้มาก ก็จะทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนได้มากขึ้นตามไปด้วย (Cole *et al.*, 1994) ซึ่งตามปกติแล้วพบว่าเมื่อประชากรของแบคทีเรียในทางเดินอาหารอยู่ในภาวะที่มีความสมดุล จะทำให้สัตว์มีสุขภาพของทางเดินอาหารดี และเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารลดลง (Luckey, 1972) แต่ถ้าหากตัวสัตว์ได้รับความเครียดเพิ่มขึ้น หรือหากผู้เลี้ยงสัตว์ใช้สัตว์สายพันธุ์ใหม่ที่มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว ให้ผลผลิตสูง ก็อาจทำให้สมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารสูญเสียไปจนเป็นสาเหตุให้สัตว์เป็นโรคได้ (อุทัย, 2535)

การทดลองที่ 4 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้นในลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไขมันสายสั้นซึ่งสามารถระเหยได้ง่าย (VFA) ทั้งสามชนิดในลำไส้ใหญ่ของลูกสุกร พบว่า ลูกสุกรทุกกลุ่มมีปริมาณของกรด acetic, propionic และ butyric แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมทางการค้ำนั้น ไม่ส่งผลต่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้นทั้งสามชนิดในลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 7 นอกจากนี้เมื่อเรียงลำดับของกรดไขมันสายสั้นจากลูกสุกรแต่ละกลุ่มตามปริมาณจะพบว่ากรดไขมันที่มีมากที่สุดคือ acetic รองลงมาคือ propionic และ butyric ตามลำดับ สอดคล้องกับ Diebold *et al.* (2004) ที่พบว่า การเสริมเอนไซม์ NSPase สามารถทำให้ปริมาณของ VFA ในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านมเพิ่มขึ้นได้ แต่ไม่ทำให้ปริมาณของ VFA ในลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของกรด acetic ที่ลำไส้ทั้งสองส่วน มีมากกว่า propionic และ butyric ตามลำดับ ในขณะที่การทดลองของ Yin *et al.* (2000) พบว่าการเสริมเอนไซม์ NSPase สามารถทำให้ปริมาณของ VFA ที่ส่วนปลายของลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นถึง 16 % แม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม

ตารางที่ 7 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้นทั้ง 3 ชนิด (ppm) ในลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม^a (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ชนิดของกรดไขมัน	T1	T2	T3	T4
Acetic	1498.91 \pm 393.44	1493.39 \pm 465.59	1495.88 \pm 309.04	1500.75 \pm 190.09
Propionic	619.94 \pm 133.42	639.33 \pm 149.12	675.95 \pm 146.43	645.69 \pm 93.96
Butyric	255.17 \pm 85.72	254.14 \pm 93.91	249.96 \pm 52.31	242.97 \pm 53.48

^aค่าสังเกตที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ทางเดินอาหารส่วนปลายของสุกรมีความยาวค่อนข้างมาก ทำให้สิ่งย่อยสามารถคงอยู่ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ได้นาน จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่จึงสามารถหมักส่วนที่เป็นเยื่อใยและย่อยให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อผลจากการทดลองที่ 3 พบว่าจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของลูกสุกรแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่าง

ไม่มีนัยสำคัญ จึงส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันสายสั้นของลูกสุกรแต่ละกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญตามไปด้วย นอกจากนี้ เมื่อปริมาณของกรดไขมันสายสั้นมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-เบสโดยตรง จึงส่งผลให้พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสในการทดลองที่ 4 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจะมีกระบวนการในการใช้ประโยชน์จากสารอาหารภายในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่โดยการหมักย่อยได้หลายวิธี จึงส่งผลให้กรดไขมันสายสั้นที่เกิดขึ้นมีปริมาณแตกต่างกัน (Macfarlane and Cummings, 1995) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะถูกเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ใหญ่นำไปใช้ในการผลิต ATP ในสภาพที่มีการใช้ออกซิเจน (Jacobasch *et al.*, 1999) และยังมีความสำคัญในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์ใหม่ที่บริเวณฐานคริปต์ของเยื่อบุผิวชั้น mucosa ภายในลำไส้ใหญ่และลำไส้เล็ก (Sakata and Yajima, 1984) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการดูดซึมกรดไขมันสายสั้นบางส่วนถูกขับออกทางมูล ปัสสาวะ และลมหายใจอีกด้วย (Gibson and Roberfroid, 1995)

การทดลองที่ 5 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อค่าความเป็นกรด-เบสในทางเดินอาหารของลูกสุกรหย่านม

ลูกสุกรทุกกลุ่มมีค่าความเป็นกรด-เบสของสิ่งย่อยจากลำไส้ทั้งสองส่วนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แสดงว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมทางการค้ำนั้น ไม่ส่งผลต่อค่าค่าความเป็นกรด-เบส ในลำไส้เล็กส่วน ไอเลียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกร ดังแสดงในตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังพบว่าลูกสุกรทุกกลุ่มมีค่าความเป็นกรด-เบสในลำไส้ใหญ่ต่ำกว่าลำไส้เล็กส่วนไอเลียม ซึ่งเป็นเพราะว่าสิ่งย่อยที่อยู่ในลำไส้เล็กซึ่งมีสภาพเป็นกรดจาก HCl ที่หลั่งออกจากกระเพาะอาหารจะถูกปรับสภาพให้เป็นกลาง (pH ประมาณ 7.0) โดยสาร buffer ที่หลั่งจากตับอ่อน และภายในลำไส้ยังมีการหลั่งสารเมือกและ bicarbonate ออกมาเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-เบสของทางเดินอาหารให้มีสภาพเหมาะสมต่อการทำงานของลำไส้อีกด้วย (ชัยวัฒน์, 2541) ในขณะที่สิ่งย่อยที่อยู่ในลำไส้ใหญ่จะถูกจุลินทรีย์ใช้ประโยชน์และปลดปล่อยกรดไขมันสายสั้นที่สามารถระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid; VFA) ออกมา ซึ่งด้วยความเป็นกรดของ VFA นี้เองจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของสิ่งย่อยในลำไส้ใหญ่ลดลง สอดคล้องกับ Hogberg and Lindberg (2004) ที่พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารจะลดลงเมื่อสิ่งย่อยเคลื่อนที่จากลำไส้เล็กส่วนไอเลียมเข้าสู่ไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ ในขณะที่ Ewing and Cole (1994) พบว่าที่ลำไส้ใหญ่มี ค่าความเป็นกรด-เบสสูงกว่าไส้ติ่ง เนื่องจากการในย่อยโปรตีน โดยจุลินทรีย์จะเกิดแอมโมเนียขึ้น ซึ่งเป็นที่

ทราบกันดีว่าแอมโมเนียส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-เบสในลำไส้มีความเกี่ยวข้องกับจำนวนประชากรและชนิดของจุลินทรีย์โดยตรง และเมื่อผลจากการทดลองที่ 3 พบว่าลูกสุกรทุกกลุ่มมีจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงเป็นเหตุให้ลูกสุกรมีค่าความเป็นกรด-เบสที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย

ตารางที่ 8 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสิ่งย่อยในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ของลูกสุกรหย่านม^a (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ตำแหน่งที่ศึกษาค่า pH	T1	T2	T3	T4
ลำไส้เล็กส่วนไอเลียม	7.00 \pm 0.14	6.92 \pm 0.10	6.87 \pm 0.11	6.91 \pm 0.11
ลำไส้ใหญ่	6.42 \pm 0.14	6.37 \pm 0.10	6.40 \pm 0.14	6.45 \pm 0.09

^aค่าสังเกตที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ค่าความเป็นกรด-เบสในทางเดินอาหารนั้นมีความเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก โดยเมื่อความเป็นกรด-เบสมีค่าเป็นเบส จะทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่ม coliform เจริญได้ดี และทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ลดจำนวนลง แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าความเป็นกรด-เบสมีค่าเป็นกรดจะทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและทำให้จุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *E. coli* ลดจำนวนลง (Nout *et al.*, 1989) นอกจากนี้ หากทางเดินอาหารมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคจะพบการสร้างโคโลนิของเชื้อก่อโรคที่ผิวของวิลไลเป็นจำนวนมาก และส่งผลให้เกิดอาการท้องเสียแก่ลูกสุกร จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ลูกสุกรตาย (Mathew *et al.*, 1991; Nagy and Fekete, 1999) แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่าลูกสุกรแต่ละกลุ่มมีค่าความเป็นกรด-เบสในทางเดินอาหารใกล้เคียงกัน ลูกสุกรจึงมีสุขภาพดี ไม่มีอาการท้องเสีย และไม่มีลูกสุกรตายในการทดลอง

การทดลองที่ 6 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสูตรมันสำปะหลังต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านม

ผลจากการตรวจสอบลักษณะของเนื้อเยื่อในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านมพบว่าลูกสุกรในกลุ่ม T2 และ T4 ซึ่งที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมมีความสูงของวิลไล ความกว้างของวิลไล และพื้นที่หน้าตัดวิลไลเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ และยังมีความลึกของคริปต์ลดลง

อย่างไม่มีนัยสำคัญด้วย แสดงให้เห็นว่าการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมส่งผลต่อวิลไลและคริปต์ภายในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมอย่างไม่ชัดเจน ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองของ Kim (2002) ที่พบว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมนั้น สามารถทำให้ความสูงของวิลไลในลำไส้เล็กของลูกสุกรเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะลำไส้เล็กส่วนไอเลียม และเมื่อวิลไลของลูกสุกรมีความสมบูรณ์จะสามารถทำหน้าที่ในการดูดซึมสารอาหารได้ดี และส่งผลให้ลูกสุกรมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 9 ผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารสุตรมันสำปะหลังต่อลักษณะทางจุลกายวิภาคภายในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านม^a (ค่าเฉลี่ย \pm SD)

ลักษณะที่ศึกษา	T1	T2	T3	T4
ความสูงของวิลไล (μm)	301.60 \pm 15.07	305.30 \pm 10.60	297.20 \pm 6.02	300.40 \pm 8.85
ความกว้างของวิลไล (μm)	71.00 \pm 3.55	73.00 \pm 2.32	69.50 \pm 2.00	70.80 \pm 2.46
พื้นที่หน้าตัดวิลไล (mm^2)	21456 \pm 2146	22296 \pm 1262	20664 \pm 995	21282 \pm 1296
ความลึกคริปต์ (μm)	53.70 \pm 4.08	52.50 \pm 3.39	55.60 \pm 3.73	51.40 \pm 4.72

^aค่าสังเกตที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบลูกสุกรในกลุ่ม T2 กับกลุ่ม T1 และกลุ่ม T4 กับกลุ่ม T3 พบว่า ความสูงของวิลไลที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญซึ่งเป็นผลมาจากการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมนั้น มีความสัมพันธ์กับความลึกคริปต์ที่ลดลง เนื่องจากเซลล์ของลำไส้จะหลุดลอกจากส่วนปลายของวิลไลอย่างต่อเนื่อง และถูกแทนที่ด้วยเซลล์ใหม่ที่เจริญมาจากส่วนของคริปต์ (Bosi *et al.*, 2004) จึงทำให้พบว่าลูกสุกรที่มีการเจริญของวิลไลมากมีโอกาที่จะมีความลึกของคริปต์ที่น้อยลง

ผลจากการทดลองในเรื่องนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับผลจากการทดลองในเรื่องการย่อยได้ของโภชนะในการทดลองที่ 1 ด้วย เพราะลูกสุกรที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมสามารถย่อยโภชนะได้มากขึ้น ทำให้สารอาหารที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้มีมากขึ้น ร่างกายของลูกสุกรจึงสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารที่ได้รับเพื่อการเติบโตของร่างกายได้อย่างเต็มที่ ซึ่งรวมไปถึงการทำให้ระบบทางเดินอาหารมีความสมบูรณ์มากขึ้น ลูกสุกรในกลุ่ม T2 จึงมีวิลไลที่สมบูรณ์กว่าลูกสุกรในกลุ่มอื่นนั่นเอง นอกจากนี้เมื่อลูกสุกรทุกกลุ่มมีจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ปริมาณของ

กรดไขมันสายสั้น และค่าความเป็นกรด-เบสในลำไส้ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ลูกสุกรทุกกลุ่มมีความสูงของวิลโล ความกว้างของวิลโล และพื้นที่หน้าตัดวิลโล ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์มีใกล้เคียงกัน ทำให้จุลินทรีย์มีการสร้างกรดไขมันสายสั้นซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้แก่เยื่อพิวลาไส้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย เมื่อเยื่อพิวลาไส้ได้รับปริมาณกรดไขมันสายสั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรด butyric ใกล้เคียงกัน จึงทำให้วิลโลและคริปต์ของลูกสุกรทุกกลุ่มมีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ยิ่งไปกว่านั้นค่า pH ที่มีความเป็นกรดภายในลำไส้เล็กยังส่งผลให้วิลโลถูกทำลายน้อยลง เนื่องจากความเป็นกรดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ ด้วยเหตุนี้ลูกสุกรทุกกลุ่มจึงมีความสมบูรณ์ของลักษณะทางจุลกายวิภาคภายในลำไส้เล็กส่วนไอเลียมใกล้เคียงกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมทางการค้าซึ่งมี NSPase, phytase, amylase และ protease เป็นส่วนประกอบลงในอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอสอดคล้องความต้องการของลูกสุกรหย่านม สามารถปรับปรุงให้ลูกสุกรหย่านมมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังให้ผลในลักษณะเดียวกันกับการเสริมเอนไซม์ดังกล่าวลงในอาหารที่มีความบกพร่องด้านคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งสามารถทำให้ลูกสุกรหย่านมมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นได้ เช่นเดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมยังสามารถทำให้ลูกสุกรหย่านมที่กินอาหารพลังงานต่ำ และมีระดับแคลเซียมและฟอสฟอรัสต่ำกว่าความต้องการมีสมรรถภาพการผลิตเทียบเท่ากับลูกสุกรหย่านมที่กินอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอสอดคล้องความต้องการแต่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ ดังนั้นจึงสามารถเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหาร เพื่อให้ลูกสุกรหย่านมมีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารที่มีความบกพร่องด้านคุณค่าทางโภชนาการเพื่อให้ลูกสุกรหย่านมใช้ประโยชน์จากอาหารดังกล่าวได้ดีขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมลงในอาหารลูกสุกรหย่านมไม่ส่งผลต่อจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร ระดับของความเป็นกรด-เบสในทางเดินอาหาร ปริมาณของ VFA ที่ลำไส้ใหญ่ และลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กส่วนไอเลียม ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเสริมเอนไซม์ชนิดรวมสามารถทำให้ลูกสุกรมีการย่อยได้ของโภชนาการทั้งที่ปลายลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งเห็นผลได้อย่างชัดเจนสำหรับลูกสุกรที่กินอาหารที่มีคุณค่าเพียงพอสอดคล้องความต้องการ แต่การศึกษาในครั้งนี้เป็นการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้มันเส้นเป็นแหล่งพลังงาน จึงควรมีการศึกษาถึงผลของการเสริมเอนไซม์ชนิดรวมในอาหารที่ใช้วัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่นที่มีราคาถูก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้เลี้ยงสุกรต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2526. **มันสำปะหลัง: เอกสารวิชาการเล่มที่ 7.** สถาบันวิจัยไร้
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** หน่วยปฏิบัติการ
เทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กานดา พันสุรินทร์. 2546. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตร
อาหารต่อระดับพีเอชและปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มก่อให้เกิดโรคและกลุ่มไม่ก่อให้เกิดโรคที่
ปลายลำไส้เล็กในสุกรระยะรุ่นและมูลสุกรระยะขุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เจริญศักดิ์ ไร้จนฤทธิ์พิเชษฐ. 2519. **มันสำปะหลัง.** ภาควิชาพืชไร้ คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 239 น.
- _____. 2532. **มันสำปะหลัง: การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูป และการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาพืชไร้
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 439 น.
- ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว. 2541. **สรีรวิทยาทางเดินอาหาร.** ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- दनัย สุภาพร. 2537. **พฤกษศาสตร์ และพันธุศาสตร์มันสำปะหลัง, น. 14-30. ใน เอกสาร
วิชาการมันสำปะหลัง.** ศูนย์วิจัยพืชไร้ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- นพวรรณ ไชยานุกุลกิตติ. 2530. **การใช้ตัวเหลืองผ่านกรรมวิธีต่างๆเป็นอาหารเสริมโปรตีนเลี้ยงลูก
สุกรหย่านมก่อนกำหนด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2546. **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 202 น.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2535. **เอนไซม์ทางอาหารตอนที่ 1**. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 304 น.

พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2543. **หลักการอาหารสัตว์เล่ม 1 โภชนะ**. โอเอสพริ้นติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 208 น.

พาพร ตันตระรัตน์, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และวิไล ตันติโสภาศรี. 2546. การใช้มันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้าวโพดเป็นสูตรอาหารสุกรระยะรุ่น และระยะขุน ทั้งที่มีการเสริม และไม่เสริมยาปฏิชีวนะ. ใน **เรื่องเต็ม การประชุมวิชาการครั้งที่ 41 สาขาสัตวสัตวแพทยศาสตร์ ประมง**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มุกกรีน สุขมงคล และสุกัญญา จิตตพรพงษ์. 2542. การใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโตชนิดต่างๆ ในอาหารลูกสุกร. **สุกรศาสตร์**. 25: 29-37.

เลอศักดิ์ จิตรดอน. 2544. เอนไซม์ย่อย pectin. เอกสารประกอบคำสอนวิชาเอนไซม์จาก **จุลินทรีย์**. ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 173-200.

สาโรช คำเจริญ และเขวามาเลย์ คำเจริญ. 2528. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ สุกร เป็ด และไก่. **วารสารเผยแพร่ชุมนุมสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกรจำกัด**. 1(1): 15-20.

_____, _____ และสุวิทย์ ชีรพันธุ์วัฒน์. 2524. การศึกษาคุณค่าในการเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย. 1. ส่วนประกอบทางเคมี, น. 13. ใน **รายงานประชุมทางวิชาการ สาขาเกษตร และชีววิทยา ครั้งที่ 19: 2-7 กุมภาพันธ์ 2524**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวรรณา พรหมทอง. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยา จุลกายวิภาค และ
 จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไก่กระทงที่ได้รับอาหารสูตรมันสำปะหลังกับอาหารสูตร
 ข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, อุทัย คันโธ, ชนินทร์ ตีรวัฒนวานิช, สุนทรานี ทองใหญ่, สุภาพร อิศริโยดม,
 กัญจนะ มากวิจิตร และอรุณี อิงคากุล. 2548. การย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรีย์สารของ
 ข้าวโพด มันเส้น และมันอัดเม็ดในทางเดินอาหารไก่กระทง. ใน **เรื่องเต็ม รายงานประชุม
 ทางวิชาการ ครั้งที่ 43** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ.

สุวรรณณี แสนทวีสุข. 2543. การใช้มันสำปะหลังเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่และไก่
 กระทง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เสกสม อาตมางกูร. 2543. การผลิตอาหารสุกรเล็กให้สอดคล้องกับระบบการพัฒนาระบบ
 ทางเดินอาหาร. **สุกรศาสตร์**. 26 (103): 29-34.

_____. 2545. เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารและการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยในการย่อยอาหาร.
สุกรศาสตร์. 29 (114): 11-18.

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่ 2.
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2535. หลักการใช้โปรไบโอติกในเชิงอาหารสัตว์. **สุกรศาสตร์**. 18 (72): 11-16.

_____. 2537. อาหารและการให้อาหารสุกรยุคใหม่, น.115-126. ใน นาม ศิริเสถียร และ
 สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, บรรณาธิการ. **การผลิตสุกรเชิงอุตสาหกรรม เล่ม 1**. ศูนย์วิจัยและ
 ฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

_____, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์: ผลการใช้และ
 ข้อมูลวิจัยในประเทศไทย. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณ
 วาจากสถิติฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม. 99 น.

_____, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และวิไลลักษณ์ ชาวอุทัย. 2540. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและการฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

อาวุธ ต้นโซ. 2531. การศึกษาการใช้ถั่วเหลืองงอกเป็นอาหารลูกสุกรหย่านมก่อนกำหนด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Adeola, O. 1995. Digestive utilization of mineral by weanling pigs fed copper- and phytase-supplemented diets. **Can. J. Anim. Sci.** 75: 603-610.

_____ and D.E. King. 2006. Developmental changes in morphometry of the small intestine and jejunal sucrase activity during the first nine weeks of postnatal growth in pigs. **J. Anim. Sci.** 84: 112-118.

Adisseo company. 2008. **Enzyme Versatility**. Rovabioguide. Available Source: <http://www.adisseonorthamerica.com/rovabioguide/versatility.asp>, May 12, 2008.

Allen, A.A. 1985. **Feedstuffs Ingredient Analysis Table: 1985 Edition**. Feedstuffs (1985 Reference Issue). 57: 25-30.

Alves, A.A.C. 2002. Chapter 5 Cassava Botany and Physiology, pp. 67-89. In R.J. Hillocks, J. M. Thresh and A.C. Bellotti, (eds). **Cassava: Biology, Production and Utilization**. CABI Publishing. London, United Kingdom.

Annison, 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.

A. O. A. C. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia.

- Bach Knudsen, K.E. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. **Anim. Feed Sci. Technol.** 67: 319-338.
- Baidoo, S.K. and Y.G. Liu. 1998. Hullless barley for swine: ileal and faecal digestibility of proximate nutrients, amino acids and non-starch polysaccharides. **J. Sci. food and Agri.** 76: 397-403.
- Barrow, P.A., B.E. Brolleker, R. Fuller and M.J. Newport. 1980. The attachment of bacteria to the gastric epithelium of the pig and its importance in microecology of intestine. **Appl. Bacteriol.** 48: 147-154.
- Baruah, K., N.P. Sahu, A.K. Pal and D. Debnath. 2004. Dietary phytase: an ideal approach for a cost effective and low-polluting aquafeed. **World Fish Center Quarterly.** 27: 15-19.
- Basillisa, P.R. 1996. **A Comparative Study on the Digestibility of Cassava, Maize, Sorghum and Barley in Various Segments of the Tract of Growing Pigs.** Department of Animal Science Medicine and Production, Faculty of Veterinary Science, University of Queensland, Australia.
- Bedford M.R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition their current value future benefits. **Anim. Feed Sci. Technol.** 86: 1-13.
- _____ and G.G. Partridge. 2001. **Enzymes in Farm Animal Nutrition.** CABI Publishing, London. 406 p.
- _____ and H. L. Classen. 1992. Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in the carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency in broiler chicks. **J. Nutr.** 12: 560-569.

- _____ and H. Schulze. 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. **Nutr. Res. Rev.** 11: 91-114.
- Beerens, H. 1990. An elective and selective isolation medium for *Bifidobacterium spp.* **Lett. Appl. Microbiol.** 11: 155-157.
- Bhat, M.K. and G.P. Hazlewood. 2001. Enzymology and Other Characteristics of Cellulase and Xylanase, pp. 11-60. In Bedford, R. Michael, and Gary G. Partridge, eds. **Enzyme in Farm Animal Nutrition.** GABI Publishing.
- Bolin, W.D., R.P. King and E.W. Klosterman. 1952. Simplified method for the determination of chromic oxide in micro samples. **Science.** 116: 634-635.
- Bosi, P., L. Casini, A. Finamore, C. Cremokolini, G. Merialdi, P. Trevisi, F. Nobili and E. Mengheri. 2004. Spray-dried plasma improves growth performance and reduces inflammatory status of weaned pigs challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli* K88. **J. Anim. Sci.** 82: 1764-1772.
- Cadogan, D.J., M. Choct and R.G. Campbell. 2003. Effects of storage time and exogenous xylanase supplementation of new season wheats on performance of young male pigs. **Can. J. Anim. Sci.** 83: 105-112.
- Chang, J. and J.L. Wood. 1971. The importance of glutathione in human disease. **J. Biol. Chem.** 249: 4346-4349 p.
- Chesson, A. 1993. Probiotics and other intestinal mediators. In D. J. A. Cole, J. Wiseman and M.A. Varley (Ed.) Principles of *bacillus* and digestibility in swine 805 **Pig Science.** pp 197-214. Nottingham University Press, Lough.

- Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**. June Issue: 13-26.
- Christen, G.L., P.M. Davidson, J.S. McAllister and L.A. Roth. 1992. Coliform and other indicator bacteria, pp. 247-269. *In* R.J. Marshall, eds. **Standard and Method for the Examination of Dairy Products**. 16th ed. Port City Press, USA.
- Cole, D.J., A.J. Wiseman and M.A. Varley. 1994. **Principle of Pig Science**. Nottingham University Press, London.
- Collins, T., C. Gerday and G. Feller. 2004. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanase. **FEMS Microbiol. Rev.** 29: 3-23.
- Conn, E.E. 1994. Cyanogenesis A perspective, pp. 31-44. *In* M. Bokanga, A.J.A. Essers, N. Poulter, H. Rosling and O. Tewe (eds.). **Acta Horticulture: International Workshop on Cassava Safety**, 1-4 March 1994, Ibadan, Nigeria.
- Cosson, T., A.M.P. Vendrell, B.G. Teresa, D. Rene, P. Taillade and J. Brufau. 1999. Enzymatic assays for xylanase and β -glucanase feed enzymes. **Anim. Feed Sci. Technol.** 77: 345-353.
- Cromwell, G.L., T.S. Stahly, R.D. Coffey, H.J. Monegue and J.H. Randolph. 1993. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in SBM in corn-soy bean meal diets for pigs. **J. Anim. Sci.** 71: 1831-1840.
- Danicke, S., G. Dusel, H. Jeroch and H. Kluge. 1999. Factors affecting efficiency of NSP-degrading enzymes in rations for pigs and poultry. **Agribiology Research** 52: 1-24.
- DeMan, J.D., M. Rogasa and M.E. Sharpe. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. **J. Appl. Bact.** 23: 130-135.

- Diebold, G., R. Mosenthin, H.P. Peipho and W.C. Sauer. 2004. Effect of supplementation of xylanase and phospholipase to a wheat-based diet for weanling pigs on nutrient digestibility and concentration of microbial metabolites in ileal digesta and feces. **J. Anim. Sci.** 82: 2647-2656.
- Eriksson, K.E.L., R.A. Blanchette and P. Ander. 1990. **Microbial and Enzymatic Degradation of wood and Wood Components.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Ewing, W.N. and D.J.A. Cole. 1994. **The Living Gut: An Introduction to Microorganisms in Nutrition.** Context, Dungannon.
- Fang, Z.F., J. Peng, Z.L. Liu and Y.G. Liu. 2007. Responses of non-starch polysaccharide-degrading enzymes on digestibility and performance of growing pigs fed a diet based on corn, soya bean meal and Chinese double-low rapeseed meal. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.** 91: 361-368.
- Gabert, V.M. 1994. **The effect of supplementation of organic acids, oligosaccharides and lactitol on the digestibility of amino acids and bacterial populations and metabolites in the digestive tract of early-weaned pigs.** M. S. thesis. University of Alberta, Edmonton.
- _____, W.C. Sauer, R. Mosenthin, M. Schmitz and F. Ahrens. 1995. The effect of amino acids, monosaccharides and bacterial populations and metabolites in the small intestine of weanling pigs. **Can. J. Anim. Sci.** 75: 99-107.
- Gdala, J., H.N. Johansen, K.E.B. Knudsen, I.H. Knap, P. Wagner and O.B. Jorgensen. 1997. The digestibility of carbohydrates, protein and fat in the small and large intestine of piglets fed non-supplemented and enzyme supplemented diets. **Anim. Feed Sci. Technol.** 65: 15-33.

- Geyra, A., Z. Uni and D. Sklan. 2001. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. **Poult. Sci.** 80: 776-782.
- Gibson, G.R. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microflora: Introducing the concept of prebiotic. **J. Nutr.** 125: 1404-1412.
- Gomez, G., M. Valdivieso, D. Delacuesta and T.S. Salcedo. 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole root cassava chips and its reduction by sun drying. **Anim. feed Sci. Technol.** 11: 75-65.
- Goodwin, T.W. and E.I. Mercer. 1972. **Introduction of Plant Biochemistry 1st ed.** Pergamon Press, New York.
- Graham, H., W. Lowgren, D. Pettersson and P. Aman. 1988. Effect of enzyme supplementation on digestion of barley/pollard based pig diet. **Nutr. Rep. Int.** 38: 1073-1079.
- Graham, H., J.G. Fadel, C.W. Newman and R.K. Newman. 1989. Effect of pelleting and β -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. **J. Anim. Sci.** 67: 1293-1298.
- Grandhi, R.R. 2001. Effect of dietary ileal amino acid rations and supplemental carbohydrase in hullless-barley-based diets on pig performance and nitrogen excretion in manure. **Can. J. Anim. Sci.** 81: 125-132.
- Han, Y.M., F. Yang, A.G. Zhou, E.R. Miller, P.K. Ku, M.G. Hogberg and X.G. Lei. 1997. Supplemental phytases of microbial and cereal sources improve dietary phytate phosphorus utilization by pigs from weanling through finishing. **J. Anim. Sci.** 75: 1017-1025.

- Hogberg, A. and J.E. Lindberg. 2004. Influence of cereal non-starch polysaccharides and enzyme supplementation on digestion site and gut environment in weaned piglets. **Anim. Feed Sci. Technol.** 116: 113-128.
- Houdijk, J.G.M., M.W.A. Verstegen, M.W. Bosch and K.J.M. van Laere. 2002. Dietary fructooligosaccharides and transgalactooligosaccharides can affect fermentation characteristics in gut contents and portal plasma of growing pigs. **Livest. Prod. Sci.** 73: 175-184.
- Huisman, M., K. Weel, H. Schols and A. Voragen. 2000. Xylogucan from soybean (*Glycine max*) meal is composed of XXXGtype building units. **Carbohydr. Polym.** 42: 187-193.
- Jacobasch, G., D. Schmiedl, M. Kruchewski and K. Schmehl. 1999. Dietary resistance starch and chronic inflammatory bowel diseases. **Int. J. Colorectal Dis.** 14: 201-211.
- Jensen, M.S., S.K. Jensen and K. Jakobsen. 1997. Development of digestive enzymes in pigs with emphasis on lipolytic activity in the stomach and pancreas. **J. Anim. Sci.** 75: 437-445.
- John, M.B., D.S. Lus, D. Gerald, E. Brad, H. Howard and H.L. William. 1989. **Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium**. Available Source: <http://www.arthritist.org/topics/friend.html>, December 25, 2009.
- Jondreville, C., J. van de Broecke, F. Gatel, F. Grosjean, S. Van Cauwenberghe and B. Seve. 2000. Ileal amino acid digestibility and estimates of endogenous amino acid loss in pigs fed rapeseed meal, sunflower meal and soybean meal. **Can. J. Anim. Sci.** 80: 495-506.

- Jongbloed, A.W., Z. Mroz and P.A. Kemme. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus and phytic acid in different sections of the alimentary tract. **J. Anim. Sci.** 70: 1159-1168.
- Jorgensen, H., X.Q. Zhao, B.O. Eggum. 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. **British Journal of Nutrition** 75: 365-378.
- Kim, S.W. 2002. Effect of alpha-1, 6-galactosidase, beta-1, 4-mannanase and beta-1, 4-mannosidase on intestinal morphology and the removal of dietary antinutritional factors in young pigs. **J. Anim. Sci.** 80 (Suppl. 1): 39 (Abstract).
- Kirk, T.K. 1983. Degradation and conversion of lignocellulose. pp. 226-295. In J.E. Smith, D.R. Berry and B. Kristiansen (eds.). **The Filamentous Fungi Fungal Technology**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Kyriakis, S.C. 1983. Post weaning diarrhea syndrome (PWDS) of piglet: a new therapeutic approach with the supporting therapy (STH). **Pig New and Infor.** 4 (1): 23-27.
- Lancaster, P.A., J.S. Ingran, M.Y. Lim and D.G. Coursey. 1982. Traditional cassava-based foods: survey of processing techniques. **Economic Botany.** 36(1): 12-45.
- Li, S., W.C. Sauer, S.X. Huang and V.M. Gabert. 1996. Effect of β -glucanase supplementation to hulless barley or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans and amino acids in young pigs. **J. Anim. Sci.** 74: 1649-1656.

- Linderman, M.D., J.L. Gentry, H.J. Monegue and G.L. Cromwell. 1997. Determination of the contribution of an enzyme combination to the growth performance of pigs. **J. Anim. Sci.** 75(Suppl.1): 184(Abstr.).
- _____, S.G. Cornelius, S.M. Kandelgy, R.L. Moser and J.E. Pettigrew. 1986. Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. **J. Anim. Sci.** 62: 1298-1307.
- Luckey, T.D. 1972. Introduction to intestinal microecology. **Am. J. Clin. Nutr.** 25: 1292-1294.
- Lykkesfeld, J. and B.L. Miller. 1994. Cyanogenic glucosides in cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). **Acta Chemica Scandinavica.** 48: 178-180.
- Lyons, T.P. 1987. Probiotics: an alternative to antibiotics. **Pig New and Infor.** 8(2): 157-164.
- Macfarlane, G.T. and J.H. Cummings. 1995. Microbiological aspects of the production of short-chain fatty acids in the large bowel. In J.H. Cummings, J.L. Rombeau and T. Sakata, eds. **Physiological Aspects of Short Chain Fatty Acids.** Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maeng, D.D. and H.L. Classen. 1998. Phytase activity in the small intestinal brush border membrane of the chicken. **Poultry Sci.** 77: 557-563.
- _____. 2001. Enzymatic characteristic of phytate as they relate to their use in animal feeds In M.R. Bedford and G.G. Partridge. **Enzyme in Farm Animal Nutrition.** CABI. UK. 406 p .
- Marquardt, R.R. 2004. Enzyme Enhancement of the Nutrition Value of Cereals: Role of Viscous, Water-Soluble, Non starch polysaccharides in Chick Performance. **Enz. in Poult. and Swine Nutr.:** 1-10.

- _____ and Z. Han. 1997. **Enzymes in Poultry and Swine Nutrition**. International Development Research Center, Ottawa. 158 p.
- Mathew, A.G., A.L. Sutton, A.B. Scheidt, D.M. Frosyth, J.A. Patterson and D.T. Kelly. 1991. Effect of propionic acid containing feed additives on performance and intestinal microbial fermentation of the weanling pig. Pages 464-469 in Proc. 6th Int. Symp. **Digestive Physiology in Pigs**. PUDOC, Wageningen.
- Mavromichalis, I., J.D. Hancock, B.W. Senne, T.L. Gugle, G.A. Kennedy, R.H. Hined and C.L. Wyatt. 2000. Enzyme supplementation and particle size of wheat in diets for nursery and finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 78: 3086-3095.
- Maxwell, F.J. and C.S. Stewart. 1995. The microbiology of gut and the role of probiotics, pp. 115-186. *In* M.A. Varley (ed.). **The Neonatal Pig Development and Survival**. CAB International, Wallingford.
- McCleary, B.V. 1988. Purification of β -glucan from barley flour. pp. 511-514. *In* Wood, W.A. and S.J. Kellogg (eds.). **Methods in Enzymology**. Academic Press, New York.
- _____. 2001. Analysis of feed enzymes. pp. 85-107. *In* Bedford, R., Michael and Gary G. Partridge, eds. **Enzyme in Farm Animal Nutrition**. GABI Publishing.
- Meng, X.F., F.O. Omogbenigun, C.M. Nyachoti, B.A. Slominski. 2002. Degradation of cell wall polysaccharides by a combination of carbohydrase enzymes: *In vivo* and *in vitro* studies. **J. Anim. Sci.** 80(suppl. 1): 253 (Abstr.).
- Moller, E. 1978. Immunoglobulin E. **Immunol. Rev.** 41: 288-314.

- Montaldo, A. 1977. Whole plant utilization of cassava for animal feed, pp. 95-106. *In* B. Nestel and M. Grahamm (eds.). **Cassava as Animal Feed**. Int. Dev. Res. Center, IDRC-095c, Ottawa.
- Muralidhara, K.S., G.G. Sheggeby, D.C. England and W.E. Sandine. 1977. Effect of feeding *Lactobacillus* flora of intestinal tissue from piglets. **J. Food Prod.** 40: 288-295.
- Nagy, B. and P.Z. Fekete. 1999. Enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) in farm animals. **Vet. Res.** 30: 259-284.
- Nartey, F. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava (*manihot spp.*), pp. 73-87. *In* **Chronic of Toxicity**. Processing of an Interdisciplinary Workshop, London England, 20-30 January 1973. Int. Develop. Res. Center Monogr. IDRC. Ottawa, Canada.
- Nasi, M. 1990. Microbial phytase supplementation for improving availability of plant phosphorus in the diet of the growing pigs. **J. Agric. Sci.** 62: 435-442.
- Nout, M.J.R., F.M. Rombouts and A. Havelaar. 1989. Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganism. **Int. Dairy J.** 9: 53-61.
- Noy, Y. and D. Sklan. 1995. Digestion and absorption in the young chick. **Poult. Sci.** 74: 366-373.
- Officer, D.I. 1995. Effect of multienzyme supplements on the growth performance of piglets during the pre- and post-weaning periods. **Anim. Feed Sci. Technol.** 56: 55-65.
- Oke, O.L. 1978. Problem in the use of cassava as animal feed. **Anim. Feed Sci. Tech.** 3: 345-380.

- Olukosi, O.A., J.S. Sands and O. Adeola. 2007. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 85: 1702-1711.
- Omogbenigun, F.O., C.M. Nyachoti and B.A. Slominski. 2004. Dietary supplementation with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. **J. Anim. Sci.** 82: 1053-1061.
- Onwueme I.C. 1978. **The Tropical Tuber Crops.** The Pitman Press, Great Britain.
- _____ and W. B. Charles. 1994. **Tropical Root and Tuber Crops: Production, Perspectives and Future Prospects.** FAO Plant Production and Protection Paper. Rome, Italy.
- Pallaut, J. and G. Rimbach. 1995. Recent result on phytic acid and phytase. **Proc. 5th Forum Anim. Nutr.** BASF Fine Chemical, Ludwigshafen. 43-63.
- Patrick, C.G. 2002. **Biocatalysis for the synthesis of polymer precursors.** Available Source: <http://webpages.sdsmt.edu/~pgilcrea/research1.html>, December 8, 2009.
- Partridge, G.G. 2001. The role and efficacy of carbohydrase and enzymes in pig nutrition, pp. 161-198. *In* M.R. Bedford, G.G. Partridge, eds. **Enzymes in Farm Animal Nutrition.** CABI Publishing, Wallingford.
- Pedersen, H.E. 1988. Allergenicity of soy proteins, *In* T.H. Applewhite, ed. **Proceeding of the World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs.** American Oil Chemist's Society, Chicago, Illinois.
- Persia, M.E. and M.S. Lilburn. 1998. The availability of dietary energy from wheat or corn based diets in growing turkeys. **Poult. Sci.** 77(Suppl. 1): 43 (Abstr.).

- Pilnik, W. and A.G.J. Voragen. 1992. Pectins from plants for the food industry. *Adv. In Plant Cell Biochem. Biotechnol.* 1: 219.
- Pluske, J.R., D.J. Hampson and I.H. Williams. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. **Livest. Prod. Sci.** 51: 215-236.
- _____, D. W. Pethick, D.E. Hopwood and D.J. Hampson. 2002. Nutritional influences on some major enteric bacterial diseases of pigs. **Nutr. Res. Rev.** 15: 333-371.
- _____, P.C.H. Morel, E.A.C. James and K.A. Jacques. 1999. A protease complement increases fecal digestibility coefficients in pigs fed soybean meal and canola meal. **J. Anim. Sci.** 77(Suppl.1): 65(Abstr.).
- Pollmann, D.S. 1986. Probiotic in Pig Diets, pp. 115-128. *In* Haresign and D.J.A, Cole, eds. **Recent Advances in Animal Nutrition.** Butterworths, England.
- Radcliffe, J.S., B.C. Robbins, J.P. Rice, R.S. Pleasant and E.T. Kornegay. 1999. The effects of Hemicell on digestibilities of minerals, energy and amino acids in pigs fitted with steered ileo-cecal cannulas and fed a low and high protein corn-soybean meal diet. **J. Anim. Sci.** 77 (Suppl. 1): 197 (Abstr.).
- Ravindran, V., P.H. Selle, G. Ravindran, P.C.H. Morel, A.K. Kies and W.L. Bryden. 2001. Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. **Poultry Sci.** 80: 338-344.
- Reese, E.T. 1976. History of the Cellulase. **Biotech. Bioeng. Symp.** 6: 9-20.

- Renata, B., I. Moreno, C.L. Zaganini, R.D. Roberta and Josiane O. 2004. Isolation of bacteriocin producing lactic acid bacteria from meat and meat products and its spectrum of inhibitory activity. **J. Micro** 35:137-144.
- Saddoris, K.L., M.R. Smirichy, D.M. Albin, V.M. Gabert and M.R. Murphy. 2001. The effects of pretreating soybean meal with fiber-degrading enzymes on ileal and total tract digestibility by growing pigs. **J. Anim. Sci.** 79 (Suppl. 1): 471 (Abstract).
- Sakata, T. and T. Yajima. 1984. Influence of short chain fatty acids on the epithelial cell division of digestive tracts. **Q. J. Exp. Physiol.** 69: 639-648.
- Salminen, S., M. Deighton and S. Gorbach. 1993. Lactic acid bacteria in health and disease, pp. 199-225. *In* S. Salminen and W. Attevon (eds.). **Lactic Acid Bacteria**. Lea Febiger Malvem, Rennsylvania.
- SAS. 2003. **SAS User's Guide: Statistics**. Sas Institute Inc., North Carolina, USA.
- Sebastian, S., S.P. Touchburn, E.R. Clavez and P.C. Lague. 1998. Implication of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry nutrition. **World Poultry Sci.** 54: 27-47.
- Scudamore, K.A., M.I. Hetmanski, H.K. Chan, S. Collins. 1997. Occurrence of mycotoxins in raw used animal feeding stuffs in the united kingdom in 1992. **Food Additives and Contaminants.** 14: 167-173.
- Simon, O. 1998. The mode of action of NSP hydrolyzing enzymes in the gastrointestinal tract. **J. Anim. Feed Sci.** 7: 115-123.
- Slominski, B.A. 2000. A new generation of enzymes for animal feeds. Pages 1-29 *In Proc.* **21st Western Nutrition Conf.**, Winnipeg, MB.

- Smirichy, M.R., K.L. Saddoris, D.M. Albin, V.M. Gabert and G.C. Fahey. 2001. Improving ileal and total tract digestion of corn and soybean meal-based diets by growing pigs using feed enzymes, steeping and particle size reduction. **J. Anim. Sci.** 79 (Suppl. 1): 181 (Abstract).
- Sunna, A. and G. Antranikien. 1997. Xylanolytic enzyme from fungi and bacterial. **Critical Review in Biotechnol.** 17: 39-67.
- Tannock, G. W. 1999. **Probiotics: A Critical Review.** Horizon Scientific Press, New Zealand.
- Teles, F.F., J.S. Oliviera, A.J. Silviera, C.M. Batista and J.W. Stull. 1985. Fatty acid, carbohydrates and crude protein in twenty cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 62: 706-708.
- Thacker, P.A., G.L. Campbell and J.W.D. GrootWassink. 1988. The effect of β -glucanase supplementation on the performance of pigs fed hullless barley. **Nutr. Rep. Int.** 38: 91-99.
- Vahjen, W., K. Glaser, K. Schafer and O Simon. 1998. Influence of xylanase-supplemented feed on the development of selected bacterial groups in the intestinal tract of broiler chicks. **J. Agric. Sci.** 130: 489-500.
- Voet, D. and J.G. Voet. 1995. **Biochemistry.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Weurding, R.E., A. Veldman, W.A.G. Veen, P.J. van der Aar and M.W.A. Verstegen. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. **J. Nutr.** 131: 2329-2335.
- White, A., P. handler and E.L. Smith. 1968. **Principle of Biochemistry,** 4th ed. Mc Graw Hill, New York.

- William, C. 2000. **Feed Enzymes for Pigs. Revealing Research-Summer 2000**, Alberta Pork Research Centre.
- Williams, S.A., J.S. Ceulp and L.G. Butler. 1985. The relationship of alkaline phosphatase, CaATPase and phytase. **Arch. Biochem. Biophys.** 241: 10-13.
- Wong, K.K.Y., L.U.L. Tan and J.N. Saddler. 1988. Multiplicity of β -1,4-xylanase in microorganisms: function and applications. **Microbiol. Reviews.** 52: 305-317.
- Wood, T.M. and K.M. Bhat. 1988. Methods for measuring cellulase activities. pp. 87-112. *In* Wood, W.A. and S.T. Kellogg, eds. **Methods in Enzymology**. Academic Press, London.
- Yi, Z., E. T. Kornegay, V. Ravindran and D. M. Denbow. 1996. Improving phytate phosphorus availability in corn and soybean meal for broiler using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values for phytase. **Poult. Sci.** 75: 240-249.
- Yin, Y.L., J.D. McEvoy, H. Schulze, U. Hennig, W.B. Souffrant and K.J. McCracken. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. **Livest. Prod. Sci.** 62: 119-132.
- _____, S.K. Baidoo, L.Z. Jin, Y.G. Liu, H. Schulze and P.H. Simmins. 2001. The effect of different carbohydrase and protease supplementation on apparent (ileal and overall) digestibility of nutrients of five hullless barley varieties in young pigs. **Livest. Prod. Sci.** 71: 109-120.
- Zanella I., N.K. Sakomura, F.G. Silversides, A. Figueirido and M. Pack. 1999. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. **Poult. Sci.** 78: 561-568.

- Zentek, J. 1995. Influence of diet composition on the microbial activity in the gastrointestinal tract of dogs. III. In vitro studies on the metabolic activities of the small intestinal flora. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.** 74: 62-73.
- Zhu, C. and C. de Lange. 2001. Influence of graded levels of dietary pectin on utilization of threonine and lysine intake for body protein deposition. **CSAS Abstracts:** 1-5.
- Zyla, K., D.R. Ledoux, M. Kujawski and T.L. Veum. 1996. The efficacy of an enzymic cocktail and a fungal mycelium in dephosphorylating corn-SBM-based feeds fed to growing turkey. **Poult. Sci.** 46: 381-387.

ภาคผนวก

วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Man Rogosa Sharpa Agar (MRS agar) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) ใช้ในการทดสอบ *Lactobacillus* sp. ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก MRS agar ผง โดยชั่งน้ำหนักผงสำเร็จรูป 66.8 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ละลายผงอาหารไว้ในน้ำกลั่น ต้มเดือดก่อนบรรจุขวด และปิดฝาหนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที เมื่อนำไปใช้ให้ความร้อนอาหารจะอยู่ในสภาพของเหลวจากนั้นนำไปแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (De Man *et al.*, 1960)

MRS agar ประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้

Peptone from casein	10.0 g
Meat extract	8.0 g
Yeast extract	4.0 g
D (+) glucose	20.0 g
di-potassium hydrogen phosphate	2.0 g
Tween [®] -80	1.0 g
di-amonium hydrogen citrate	2.0 g
Sodium acetate	5.0 g
Magnesium sulfate	0.2 g
Manganese sulfate	0.04 g
Agar	14.0 g
เติมน้ำกลั่น โดยปรับให้มีปริมาตร	1.0 L

ปรับ pH 5.7 ± 0.2 (25°C)

2. Beeren's agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) ใช้ในการทดสอบหาแบคทีเรีย *Bifidobacterium* sp. ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก Columbia agar ผง โดยชั่งน้ำหนักผงสำเร็จรูป 39 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ละลายผงอาหารไว้ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นให้ครบ ต้มเดือดก่อนบรรจุขวดและปิดฝาหนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที เมื่อนำไปใช้ให้ความร้อนอาหารจะอยู่ในสภาพของเหลวจากนั้นนำไปแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Beerens, 1990)

Beeren's agar ประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้

Columbia agar	39.0 g
Glucose	5.0 g
Cysteine hydrochloride	0.5 g
Propionic acid	5.0 g
Agar	5.0 g
เติมน้ำกลั่น โดยปรับให้มีปริมาตร	1.0 L
ปรับ pH 5.0 ± 0.5 (25°C)	

3. Coliform Agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) ใช้ในการทดสอบหาแบคทีเรีย *E.coli* และ Coliform ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก Coliform agar ผง โดยชั่งน้ำหนักผงวุ้นสำเร็จรูป 26.5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ละลายผงอาหารวุ้นในน้ำกลั่น ต้มเดือดก่อนบรรจุขวด และปิดฝาในหม้อความดันไอน้ำที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที เมื่อนำไปใช้ให้ความร้อนอาหารวุ้นจนอยู่ในสภาพของเหลว จากนั้นนำไปแช่ใน waterbath ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Christen *et al.*, 1992)

Coliform agar ประกอบด้วยส่วนผสมดังนี้

Peptone	3.0 g
Sodium chloride	5.0 g
Sodium dichloridephosphate	2.2 g
di-sodium hygrogenphosphate	2.7 g
Tryptophan	1.0 g
Sodium pyruvate	1.0 g
Tergitol	70.15 g
Sorbital	1.0 g
Chromogenic mix	0.4 g
Agar	10.0 g
เติมน้ำกลั่น โดยปรับให้มีปริมาตร	1.0 L
ปรับ pH 6.8 ± 0.2 (25°C)	

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารและในมูล (Bolin *et al.*, 1952)

อุปกรณ์

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

สารเคมีที่ใช้และการเตรียม

1. สารละลายออกซิไดซิงรีเอเจนต์ (oxidizing reagent)

เตรียมโดยชั่งโซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) 11.75 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร นำไปวางลงในอ่างน้ำเย็น จากนั้นค่อยเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ 150 มิลลิลิตร แบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร (พัก 5-10 นาที แล้วค่อยใส่ครั้งต่อไป) โดยค่อยๆ เทลงตามขอบของขวดวัดปริมาตร เสร็จแล้วเติมกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) เข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร แบ่งใส่ครั้งละ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปใช้

2. กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 70-72 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อย

1.1 ชั่งตัวอย่างใส่เจตาห์ลพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่างอาหาร 1.5 กรัม และชั่งตัวอย่างมูล 0.5 กรัม

1.2 เติมออกซิไดซิงรีเอเจนต์ 12 มิลลิลิตร

1.3 นำไปย่อยบนเตาย่อยด้วยไฟปานกลางจนสารเป็นสีเหลืองหรือสีส้ม และมีไอน้ำเกาะบริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่จึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

1.4 เติมกรดเปอร์คลอริก 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยอีกครั้งจนปรากฏไอน้ำบริเวณผิวด้านในของหลอด ทิ้งไว้สักครู่จึงนำออกมาใส่ช่องดูดควัน ทิ้งไว้ให้เย็น

2. ขั้นตอนการปรับปริมาตร

เทสารละลายที่ได้จากการย่อยลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร นิดล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

3. ขั้นตอนการกรอง

กรองสารละลายที่ปรับปริมาตรแล้วด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40

4. ขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสง

นำสารละลายที่กรองแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 440 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank (ทำทุกขั้นตอนเหมือนตัวอย่างแต่ไม่ได้ใส่ตัวอย่าง) โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงของ blank ให้เป็นศูนย์ด้วยการ set auto zero

5. ขั้นตอนการคำนวณ

จากวิธีการดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในตัวอย่างอาหาร และผลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้สมการนี้

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

A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

mIAI = ปริมาตรของสารละลายที่ได้หลังจากขั้นตอนการปรับปริมาตร

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ย่อย

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

หมายเหตุ (ค่า EF โดยปกติมีค่า 389-400 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล

นายภาคภูมิ สุขโพธิ์เพชร

วัน เดือน ปี ที่เกิด

7 มกราคม พ.ศ. 2525

สถานที่เกิด

กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียน
สาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม พ.ศ. 2543
วท.บ. (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2547