ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ | สัตวบาล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

Effects of Two Different Feed Enzymes on Live Performances of Broilers Fed Diets Containing Palm Kernel Meal

นามผู้วิจัย นางสาวนิสารัตน์ เหย้าภักดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาตราจารย์เนรมิตร สุขมณี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

Effects of Two Different Feed Enzymes on Live Performances of Broilers Fed Diets Containing Palm Kernel Meal

โดย

นางสาวนิสารัตน์ เหย้าภักดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิสารัตน์ เหย้าภักดี 2557: ผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ปริญญาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D. 73 หน้า

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (PKM) โดยใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุ 1 วัน จำนวน 1,800 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 50 ตัว (เพศผู้ 25 ตัว และเพศเมีย 25 ตัว) ให้ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลอง 6 สูตร ใช้แผนการทดลองแบบ 2×3 Factorial in CRD โดยปัจจัย A มี 2 ระดับ ได้แก่ การใช้ PKM ที่ระดับต่ำและสูง ปัจจัยที่ B คือ 1) การไม่เสริมเอนไซม์ 2) การเสริมเอนไซม์รวม (อะไมเลส โปรติเอสและไซลาเนส; XAP) และ 3) การเสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M) จากการทดลอง ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ พบว่าการเสริมเอนไซม์ทั้ง 2 รูปแบบ สามารถช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อระยะเล็ก (อายุ 1-17 วัน) ที่ได้รับอาหารที่มี PKM ได้ ทางด้านผลตลอดการทดลองพบว่าการใช้ PKM ระดับสูงในสูตรอาหารส่งผลให้แนวโน้มปริมาณอาหารที่กินเพิ่มขึ้น ($P=0.0918$) ขณะที่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวลดลง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้ PKM ในระดับต่ำ และพบว่าการใช้ PKM ระดับสูงในสูตรอาหารส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกและน่องลดลง ($P<0.05$) และการเสริมเอนไซม์ XAP สามารถปรับปรุงเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ระดับสูงให้ดีเทียบเท่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ระดับต่ำได้ ($P<0.05$) สำหรับจำนวนประชากร Clostridium perfringens และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อ พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มทดลอง ($P>0.05$)

_____ / _____ / _____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nisarat Yaophakdee 2014: Effects of Two Different Feed Enzymes on Live Performances of Broilers Fed Diets Containing Palm Kernel Meal. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Yuwares Ruangpanit, Ph.D. 73 pages.

The objective of this study was to determine Effects of Two Different Feed Enzymes on Live Performances of Broilers Fed Diets Containing Palm Kernel Meal (PKM). A total of 1,800 day-old Ross 308 broiler chicks were randomly divided into 6 dietary treatments with 6 replications per treatment. The experimental design was 2×3 Factorial in Completely randomized design with 2 levels of PKM (low and high) and 3 types of enzyme including, 1) no enzyme, 2) enzyme complex (amylase, protease, xylanase; XAP), and 3) enzyme mannanase (M). There was no significant interaction between the effect of PKM levels and enzyme supplementation on broiler performance. Birds fed high level of PKM in the diets tended to have higher feed intake ($P=0.0918$) and significant lower body weight gain ($P<0.01$), which led to a significant higher feed conversion ratio ($P<0.01$). However, The supplementation of both XAP and M enzymes improved growth performance during starter period fed diets containing PKM. Feeding high PKM in broiler diet caused a significant lower in % breast and thigh. The supplementation of XAP enzyme help to improve % breast of broiler fed high PKM diet There was no significant interaction effect and main effect of PKM level and enzyme supplementation on Clostridium perfringens prevalence and gut morphology of broiler ($P>0.05$).

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุวเรศ เรืองพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาตมางกูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษา คำแนะนำในการดำเนินการทดลองอย่างใกล้ชิด และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณด้านการทดลอง ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก และศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ แห่งสถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเลี้ยงสัตว์ทดลองและดำเนินการตรวจวัดคุณภาพซาก เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์อาหารทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นิสารัตน์ เหย้าภักดี

24 กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	43
สรุป	56
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 คุณค่าทางโภชนะของกากปาล์มประเภทต่างๆ 9
2 ชนิดและปริมาณ NSP ที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (% วัตถุแห้ง) 13
3 องค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (เปอร์เซ็นต์) 28
4 การจัดกลุ่มอาหารที่ใช้ทดลอง 35
5 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง 36
6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง 49
7 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกันที่อายุ 1-17 วัน 50
8 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกันที่อายุ 18-35 วัน 51
9 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกันที่อายุ 1-35 วัน 52
10 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกัน 53
11 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกัน 54
12 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกัน 55
13 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพของวัสดุรองพื้นของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกัน 55

ตารางผนวกที่

1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง 69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทย 5
2 สัดส่วนเนื้อที่ยืนต้น และผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี 2553 5
3 ผลปาล์มและส่วนประกอบภายในผลปาล์ม 7
4 การจำแนก non-starch polysaccharide 12
5 โครงสร้างสารประกอบแมนแนนและการย่อยสลายแมนแนนจากเบต้า-แมนนาเนส 25

ภาพผนวกที่

1 อุณหภูมิภายในโรงเรือนเวลา 7:00 น. และ 16:00 น. 72
2 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในเวลา 7:00 น. และ 16:00 น. 72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PKM	=	กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน
XAP	=	เอนไซม์รวมไซลาเนส, อะไมเลส และโปรติเอส
M	=	เอนไซม์แมนนาเนส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

Effects of Two Different Feed Enzymes on Live Performances of Broilers Fed Diets Containing Palm Kernel Meal

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ในปัจจุบันมักประสบกับปัญหาราคาอาหารหรือวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศที่แปรปรวนของโลกทำให้วัตถุดิบที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีปริมาณลดลง หรือจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการในการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น จากปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้วัตถุดิบอาหารสัตว์เกิดการขาดแคลน ดังนั้นการเลือกใช้แหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดแทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้

กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel meal, PKM) เป็นผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นวัตถุดิบทางเลือกแหล่งหนึ่งที่ให้โปรตีนสูงและมีราคาถูก แต่เนื่องจาก PKM มีปริมาณเยื่อใย (non-starch polysaccharides; NSP) ในกลุ่มที่ละลายน้ำได้ เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์กระเพาะเดี่ยว การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารจะน้อยลง เนื่องจากสัตว์ขาดเอนไซม์ที่ช่วยย่อย NSP เหล่านี้ จึงทำให้เกิดความข้นหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลไปขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของสารอาหาร ทำให้มีอาหารเหลือไปสู่ลำไส้เล็กส่วนปลาย ซึ่งจะเป็นแหล่งอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

ปัจจุบันได้มีการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์ หรือเพื่อกำจัดสารขัดขวางทางโภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งจะส่งผลให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารจากแหล่งวัตถุดิบทางเลือกได้เพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์สองรูปแบบในอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพการผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณภาพซาก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ และประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน

2. เพื่อเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน

3. เพื่อเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน

4. เพื่อเปรียบเทียบการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อประชากร *Clostridium perfringens* ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยนั้นพบว่าต้นทุนในการผลิตส่วนใหญ่มาจากค่าอาหาร ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความต้องการวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ จึงส่งผลให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ปัจจุบันมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จึงได้มีแนวคิดในการนำเศษวัสดุที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือผลพลอยได้จากการเกษตรในท้องถิ่น ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้อยู่เดิมและมีราคาถูก มาใช้ทดแทนวัตถุดิบหลักบางชนิดในสูตรอาหารสัตว์ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ขาดแคลน และยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์ให้ลดต่ำลงได้ (สุธา และ เสาวนิต, 2544)

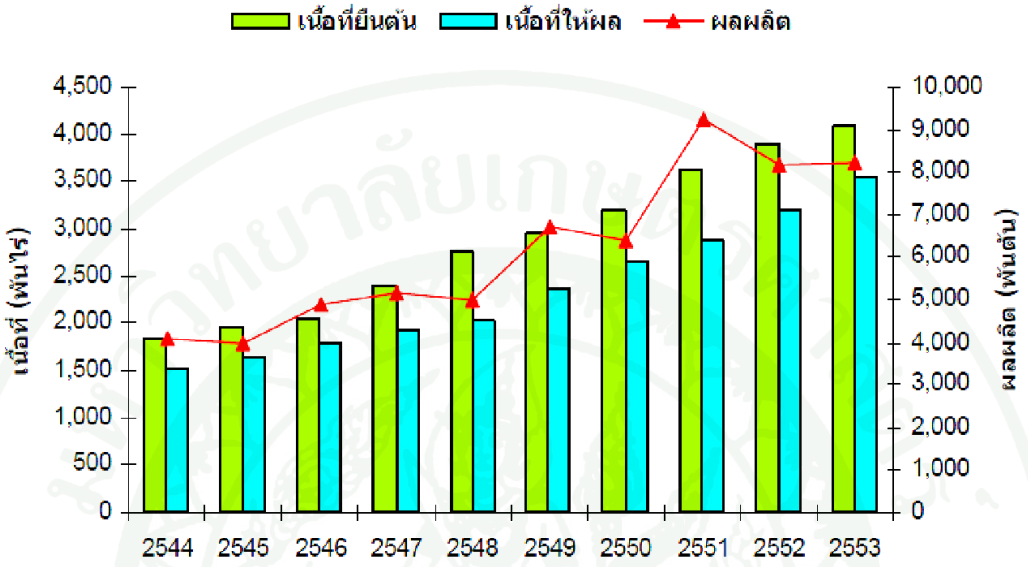
ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชตระกูลปาล์ม (Palmae) เช่นเดียวกับมะพร้าว จาก อินทผาลัม และตาลโตนด เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ลำต้นตรง มีผลเป็นทะลาย นิยมปลูกเพื่อนำน้ำมันมาเป็นประโยชน์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา อเมริกา และเอเชีย อินโดนีเซียเป็นประเทศแรกที่นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียเมื่อ พ.ศ. 2391 จากนั้นประเทศมาเลเซียได้นำเข้ามาปลูกเมื่อปี พ.ศ. 2418 จนกระทั่ง พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา ประเทศมาเลเซียกลายเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลก ประเทศไทยเริ่มนำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกตั้งแต่สมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 (ปี พ.ศ. 2485) ที่สถานีทดลองยางคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และที่สถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี (เอกชัย, 2548) สำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงการค้าเป็นครั้งแรกที่ จ. กระบี่ และสตูล เมื่อปี พ.ศ. 2511 จากนั้นได้กระจายออกสู่จังหวัดอื่นๆ ในภาคใต้

ปัจจุบันประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันรวมทั้งสิ้น 4.077 ล้านไร่ เนื้อที่ที่ให้ผลผลิตแล้วมีประมาณ 3.55 ล้านไร่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (ภาพที่ 1) โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ร้อยละ 87 อยู่ในภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคกลางมีเพียงร้อยละ 11 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 2 อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ (ภาพที่ 2) ส่วนผลผลิตปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2553) ดังนั้นอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจึงมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นทุกปี

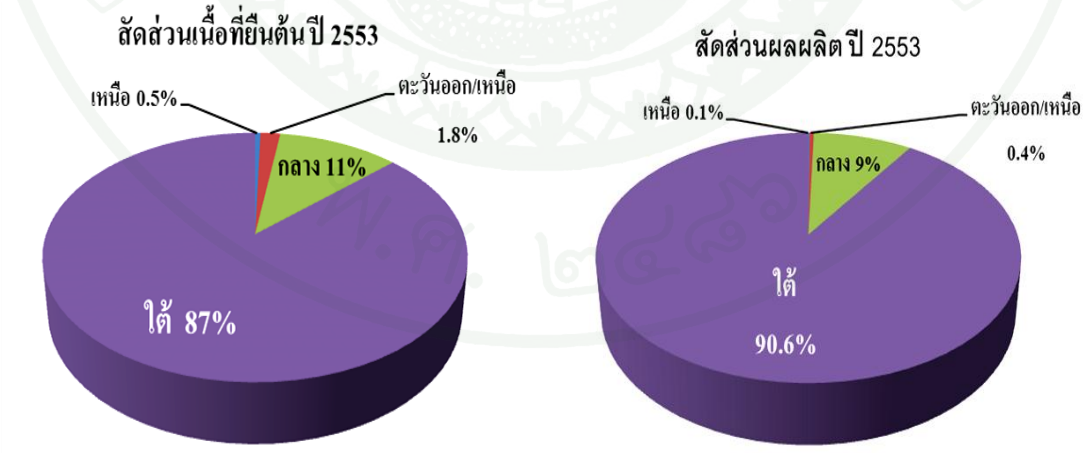
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไม่ว่าจะเป็นกากปาล์มหรือ PKM ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมที่มีคุณค่าทางโภชนะสูง และราคาไม่แพง สามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้



ภาพที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทย

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2553)



ภาพที่ 2 สัดส่วนเนื้อที่ยืนต้น และผลผลิตปาล์มน้ำมันในปีพ.ศ. 2553

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2553)

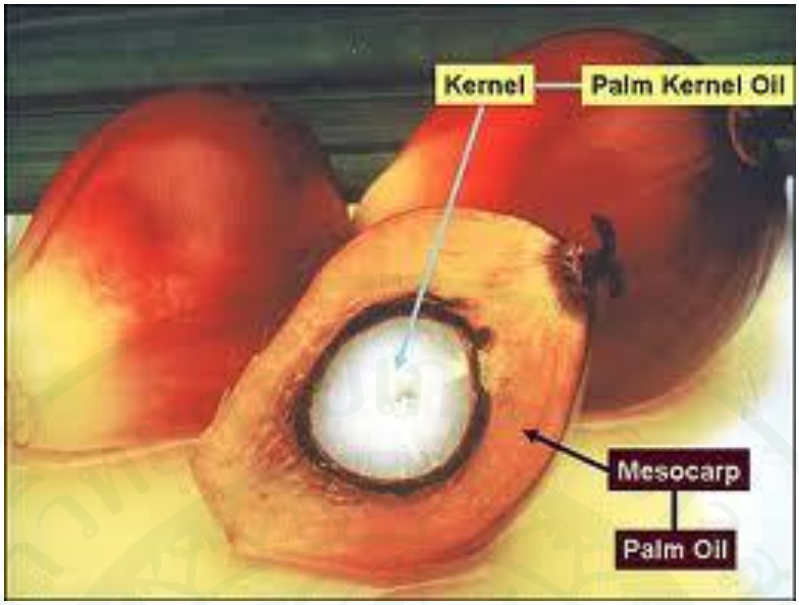
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในพืชตระกูลปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae) ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ *Elaeis guineensis* (African oil palm), *Elaeis oleifera* (South American oil palm) และ *Elaeis odora* (American oil palm) ซึ่งพบว่า *Elaeis guineensis* มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดเนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น และเป็นสายพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน ปาล์มน้ำมันชอบสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตกชุกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี โดยเฉลี่ยประมาณ 1,800-2,000 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในรอบปีไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรมีสภาพแห้งแล้งเกิน 2 เดือนติดต่อกัน ชอบความชื้นสูง แสงแดดจัดอย่างน้อยวันละ 5 ชั่วโมง ลักษณะของดินควรเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินเหนียว มีความลึกของชั้นหน้าดินมากกว่า 75 เซนติเมตร อุ้มน้ำได้ดี ระดับน้ำใต้ดินลึก 75-100 เซนติเมตร มีธาตุอาหารสูง ความลาดชันไม่ควรเกิน 12 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำทะเลเกิน 500 เมตร ดินควรจะมีสภาพเป็นกรดอ่อนคือ มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4.0-6.5 พื้นที่ไม่ควรมีน้ำท่วมขัง มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง พื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศ จึงมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมแก่การปลูกปาล์มน้ำมัน โดยในปัจจุบันปาล์มน้ำมันยังสามารถปลูกได้ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางส่วนอีกด้วย แต่ผลผลิตที่ได้รับโดยทั่วไปเฉลี่ยยังต่ำกว่าประเทศมาเลเซีย

ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบ fibrous root system โดยรากเกือบทั้งหมดเจริญตามแนวนอนระดับใกล้ผิวดิน ความลึกประมาณ 2 เมตร ลำต้นตั้งเดี่ยวตรง สูงประมาณ 15-20 เมตร ใบเป็นรูปขนนกคล้ายใบมะพร้าว แต่ละทางใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ก้านทางใบและใบย่อย ช่อดอกเป็นดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monokioecious) ในแต่ละต้นจะเกิดช่อดอกได้ประมาณ 10-15 ช่อดอก ส่วนผลหรือทะลายประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลาย และผล การปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าจะต้องการทะลายปาล์ม เปลือกนอก กะลา และเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (วีรชัย และคณะ, 2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ผลปาล์มและส่วนประกอบภายในผลปาล์ม

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553)

ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยชั้นนอกสุด คือ ชั้น exocarp มีลักษณะบางและมีสีแตกต่างตามพันธุ์ ชั้นถัดมา คือ ชั้น mesocarp เป็นชั้นเปลือกที่นำมาสกัดน้ำมันปาล์มที่เรียกว่า palm oil ถัดมา คือ ชั้นกะลา (shell หรือ endocarp) และชั้นในสุด คือ ชั้นที่เรียกว่า เมล็ดใน (kernel) ที่นำมาสกัดน้ำมันที่เรียกว่า palm kernel oil (ภาพที่ 3) และผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมัน จากส่วนนี้ คือ กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (PKM) ซึ่งมีปริมาณ 45-56 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (ปิ่นและคณะ, 2551)

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

กระบวนการหีบน้ำมันแบบแยกเปลือกและเมล็ดในโดยใช้น้ำ

การนำทะลายปาล์มสดซึ่งตัดจากต้นมาทำการอบทะลายปาล์มด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้ออบความดันไอน้ำนาน 40–80 นาที จากนั้นจะนำเข้าเครื่องนวดเพื่อนวดปาล์มให้ออกจากทะลายปาล์ม ทะลายเปล่าจะถูกส่งไปยังเตาเผาเพื่อทำปุ๋ยประเภทโพแทสเซียม หรือนำไปเพาะเห็ด ส่วนผลปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยบดเพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ด ในขั้นตอนนี้จะได้เมล็ดใน เปลือก และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำมันดิบ เมล็ดในจะถูกส่งไปยังเครื่องตะแกรงเมล็ด เพื่อแยกส่วนของกะลาและเนื้อในออกจากกัน เนื้อในเมล็ดปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องอบแห้งแล้วบรรจุกระสอบจำหน่ายไปยังโรงกลั่นน้ำมันปาล์ม และน้ำมันดิบกับเปลือกนอกที่มีน้ำมัน จะถูกส่งไปยังเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัดหีบน้ำมันดิบออกจากเปลือก ส่วนกากจะถูกส่งไปยังเตาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับกะลาต่อไป น้ำมันดิบจะถูกส่งไปที่เครื่องกรองน้ำมันแบบเครื่องจักรกรองหลายชั้น เพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ และจะส่งไปทำความสะอาดโดยใช้เครื่องฟอกเหวี่ยงความเร็วสูง แยกน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ หากยังมีสิ่งเจือปนอยู่ จะถูกส่งไปยังเครื่องกำจัดความชื้น เพื่อให้ความชื้นอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด แล้วบรรจุถังเก็บเพื่อรอจำหน่าย (เอกชัย, 2548)

ชนิดของกากปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการหีบและสกัดน้ำมัน จะมีผลพลอยได้หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทั้งหมด 5 ชนิด คือ กากเยื่อใยปาล์ม (oil palm pericarp หรือ palm press fiber, PPF) กากปาล์มน้ำมัน (oil palm meal) กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน (palm kernel meal; PKM) กากเมล็ดปาล์ม หรือกะลาปาล์ม (palm nut shell หรือ palm seed meal, PSM) และส่วนสุดท้าย คือ กากน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge, POS) เศษวัสดุเหลือใช้ต่างๆ เหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้หลายชนิด ได้แก่ กากเยื่อใยปาล์มสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง ปุ๋ยหมัก เพาะเห็ด ส่วนของกะลาปาล์มนำไปเผาเป็นถ่าน ทำเป็นวัสดุปลูกต้นหน้าวัวและต้นกล้วยไม้ได้ ส่วน PKM ใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ด และเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มี 4 ชนิด คือ

1. กากปาล์มน้ำมัน หรือกากปาล์มรวม หรือกากผลปาล์ม (oil palm meal, PM)

โดยส่วนใหญ่กากปาล์มชนิดนี้จะได้จากโรงงานที่มีกระบวนการผลิตแบบใช้เครื่องบีบน้ำมัน (expeller) และพบว่าเป็นกากปาล์มที่มีปริมาณการผลิตในท้องตลาดจำนวนมาก กากปาล์มชนิดนี้จะประกอบไปด้วยเปลือกผลชั้นนอก เนื้อปาล์มชั้นนอก กะลาปาล์ม และเนื้อเมล็ด โดยเฉพาะส่วนของเยื่อใยมีมากกว่ากากปาล์มชนิดอื่นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. กากเมล็ดปาล์ม (palm seed meal, PSM)

เป็นกากปาล์มที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากเนื้อเมล็ดปาล์มโดยไม่แยกกะลาออก ซึ่งจะมีทั้งกะลาและเนื้อปาล์ม เป็นกากปาล์มที่มีการผลิตและมีการใช้เป็นอาหารสัตว์มาก กากปาล์มชนิดนี้มีส่วนประกอบของกะลาปาล์ม เปลือกเมล็ด และเนื้อเมล็ด

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนะของกากปาล์มประเภทต่างๆ

ส่วนประกอบ (%วัตถุแห้ง)	กากตะกอนปาล์ม	กากผลปาล์ม	กากเยื่อใยปาล์ม	กากเมล็ดปาล์ม	กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	
					สกัดด้วยสารเคมี	หีบน้ำมัน
โปรตีน	12.40	8.05	4.00	9.60	16.15	14.46
เยื่อใย	15.20	35.15	36.40	11.50	16.03	26.29
ไขมัน	24.10	7.86	21.00	21.30	0.72	9.21
เถ้า	11.20	5.17	9.00	11.10	7.91	4.53
แคลเซียม	0.28	-	0.31	0.28	0.46	0.28
ฟอสฟอรัส	0.18	-	0.13	0.26	0.68	0.53

ที่มา: จินดา (2548)

3. กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel meal, PKM)

เป็นกากปาล์มที่เอาเฉพาะเนื้อเมล็ดปาล์ม (แยกเอาเปลือกและกะลาออก) มาผ่านกระบวนการสกัดน้ำมัน เป็นกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันพืชที่มีขนาดใหญ่ มีกระบวนการผลิตแยกส่วน ซึ่งมีความแตกต่างทางกายภาพกับกากปาล์มชนิดอื่นอย่างชัดเจน และประกอบด้วยส่วนของเนื้อในเป็นส่วนมาก ชิ้นส่วนของกะลาปาล์มพบว่ามีปะปนเพียงเล็กน้อย จึงมีคุณภาพสูงกว่ากากปาล์มชนิดอื่นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. กากตะกอนน้ำมันหรือกากน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge, POS)

กากปาล์มชนิดนี้ ทางโรงงานผลิตจะเรียกว่า กากปาล์ม (decanter) ปริมาณของกากปาล์มชนิดนี้มีปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้จากการกรองน้ำมันปาล์ม และมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกับกากปาล์มชนิดอื่น ประกอบด้วยส่วนของกะลา เส้นใย และเนื้อ แต่ค่อนข้างเป็นชิ้นละเอียด ยกเว้นสำหรับโรงงานที่นำมาผสมกากพืช เพื่อช่วยให้สามารถอัดน้ำมันที่เหลืออยู่ในตะกอนน้ำมันออกได้อีก แต่จะมีการนำกากปาล์มชนิดนี้ไปผสมรวมกับกากปาล์มน้ำมัน ซึ่งกากส่วนนี้มีคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างแปรปรวน (วีรชัย และคณะ, 2553)

องค์ประกอบทางเคมีของกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

PKM มีคุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดน้ำมันคือ มีโปรตีนประมาณ 15.30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 8.86 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใยประมาณ 17.15 เปอร์เซ็นต์ (วีรชัย และคณะ, 2553) แต่โรงงานในประเทศไทยยังไม่สามารถแยกกะลาออกได้ทั้งหมด PKM ที่ได้จึงมีโปรตีนต่ำและเยื่อใยสูงคือ มีโปรตีนประมาณ 10.8 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 10.3 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใยประมาณ 27.2 เปอร์เซ็นต์ PKM ที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยสารเคมีจะมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า (สุธา และ เสาวนิต, 2544) และในส่วนปริมาณเยื่อใยพบว่ามีแมนแนน (mannan) ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ของเยื่อใย (Dusterhoft *et al*., 1992) โดย galactomannan มีคุณสมบัติเป็นเยื่อใยที่ละลายน้ำได้ ซึ่งอาจมีผลต่อการย่อยและการดูดซึมสารอาหารของสัตว์ได้

นอกจากนั้นยังพบว่า PKM มีธาตุอาหารอื่นๆ อีกมากมาย ยกตัวอย่างเช่น มีความสมดุลระหว่างแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากกว่าในกากเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ซึ่งมีฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.0, 3.6 และ 6.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแร่ธาตุปลีกย่อยที่มีอยู่มากที่สุดคือ เหล็ก 356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แมงกานีส 135 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สังกะสีและทองแดง อยู่ในระดับ 41 และ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (วีรชัย และคณะ, 2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

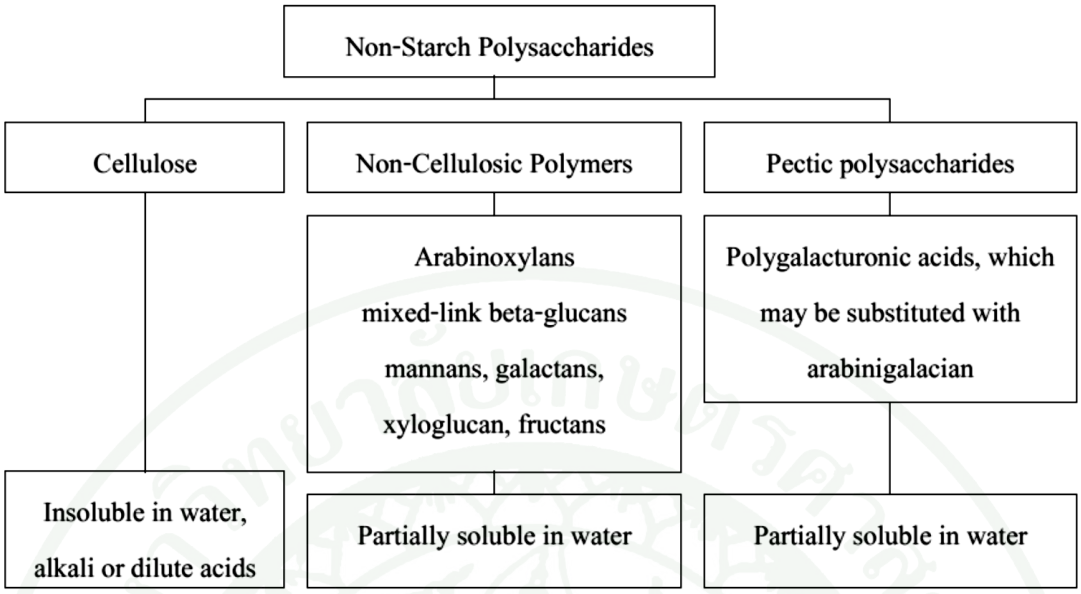
เยื่อใย (Fiber)

เยื่อใยในอาหารเป็นส่วนประกอบของพืชที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Jenkins, 1988) แต่อาจถูกย่อยสลายได้บางส่วนโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เยื่อใยพบได้ทั่วไปในส่วนที่เป็นผนังเซลล์พืช และไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Southgate, 1976) ได้แก่ เซลลูโลส (celluloose) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เพคติน (pectin) กัม (gums) มิวซิเลจ (mucilages) และลิกนิน (lignin) (Roehrig, 1984)

ในความหมายทางเคมี เยื่อใยหมายถึงวัตถุหยาบที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharide; NSP) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด นอกเหนือจากกลูโคส (glucose) จับกันด้วยพันธะ β-1-3 และ β-1-4 glycosidic โดย NSP สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ cellulose (ไม่ละลายน้ำ) non-cellulosic polymer และ pectic polysaccharide (ละลายน้ำ) (ภาพที่ 4) (Choct and Kocker, 2002) คำว่า insoluble NSP เป็นคำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น หมายถึง วัตถุหยาบ เช่น เยื่อใยรวม แต่แตกต่างจากคำว่า soluble NSP ซึ่งเมื่อพบว่ามีสัดส่วนในอาหารสัตว์ปีกมากขึ้น จะเป็นสาเหตุของปัญหาต่างๆ ที่คุ้นเคย เช่น ความชื้น มูลเหนียว มูลติดก้น และวัสดุรองพื้นเปียก จึงต้องมีการใช้ NSP enzymes เพื่อจะขจัดปัญหาต่างๆ

NSP ที่ไม่ละลายน้ำ จะไม่ทำให้เกิดความข้นหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร แต่จะถูกหมักย่อยอย่างช้าๆ ในลำไส้ใหญ่ ส่วน NSP ที่ละลายน้ำจะเพิ่มความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร และเมื่อ NSP เกิดการแตกตัวจะมีลักษณะที่เป็นสารเหนียวคล้ายวุ้น ซึ่งจะไปห่อหุ้มสารอาหารชนิดอื่นๆ ทำให้เอนไซม์จากสัตว์ไม่สามารถเข้าไปย่อยได้ ดังนั้น NSP จึงถือว่าเป็นสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น (anti-nutrients) ทำให้มีผลลดการเจริญเติบโต และลดสมรรถภาพการผลิตของไก่ รวมทั้งลดการย่อยได้ของโภชนะโดยเฉพาะไขมัน (วรรณพร และ พันทิพา, 2543)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 การจำแนก non-starch polysaccharide

ที่มา: Choct and Kocker (2002)

วัตถุดิบที่ใช้ในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มักจะมี NSP เป็นองค์ประกอบอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ในส่วนของธัญพืชมักจะพบ NSP ประมาณ 10-30 เปอร์เซนต์ (xylans, ß-glucans and cellulose) โดยข้าวโพดและข้าวฟ่างพบว่ามี NSP ที่ละลายน้ำในระดับต่ำ แต่จะพบ NSP ที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำทั้ง 2 ชนิดในข้าวสาลี และข้าวไรซ์ ในวัตถุดิบผลพลอยได้ส่วนใหญ่จะเป็น NSP ที่ไม่ละลายน้ำ รำสาลีมักพบ NSP ทั้งหมดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ 3 เปอร์เซ็นต์เป็น NSP ที่ละลายน้ำได้ ส่วนรำข้าวมักพบ NSP ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ (ส่วนใหญ่เป็น arabinoxylans and cellulose) (ตารางที่ 2) (Choct, 1997) และพบว่า 81 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตใน PKM เป็น NSP ซึ่งน้ำตาลหลักๆ ที่มีคุณสมบัติเป็น NSP ที่ละลายน้ำได้ คือ แมนโนสและกาแลกโตส ส่วนแมนโนสและกลูโคสมีคุณสมบัติเป็น NSP ที่ไม่ละลายน้ำ (Knudsen, 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ชนิดและปริมาณ NSP ที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (% วัตถุแห้ง)

วัตถุดิบ	arabinoxylan	ß -glucan	cellulose	Mannose	galactose	uronic acid	Total
ข้าวสาลี							
NSP ที่ละลายน้ำ	1.8	0.4			0.2		2.4
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	6.3	0.4	2		0.1	0.2	9
ข้าวบาร์เลย์							
NSP ที่ละลายน้ำ	0.8	3.6			0.1		4.5
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	7.1	0.7	3.9	0.2	0.1	0.2	12.2
ข้าวไรซ์							
NSP ที่ละลายน้ำ	3.4	0.9		0.1	0.1	0.1	4.6
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	5.5	1.1	1.5	0.2	0.2	0.1	8.6
ข้าวฟ่าง							
NSP ที่ละลายน้ำ	0.1	0.1					0.2
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	2	0.1	2.2	0.1	0.15		4.6
ข้าวโพด							
NSP ที่ละลายน้ำ	0.1						0.1
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	5.1		2	0.2	0.6		8
รำข้าวสาลี							
NSP ที่ละลายน้ำ	2.6	0.2			0.1	0.3	3.2
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	26		10.8	0.1	0.6	0.9	38
รำข้าว (สกัดน้ำมัน)							
NSP ที่ละลายน้ำ	0.2				0.2		0.5
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	8.3		11.2	.	1	0.4	21.3
ถั่วเหลือง							
NSP ที่ละลายน้ำ	0.6			0.2	0.6	1.1	2.7
NSP ที่ไม่ละลายน้ำ	4.1		4.4	0.7	3.9	2.5	16.5

ที่มา: Choct (1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mannan

Mannan เป็นสารประกอบประเภท non cellulosic polymers ซึ่งเป็น NSP ที่ละลายน้ำ พบในส่วนของผนังเซลล์พืช เช่น พืชไม้เนื้ออ่อน โดยพบอยู่ระหว่างชั้นของเซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (lignin) (Ethier *et al*., 1998) mannan จากพืชนั้นสามารถแบ่งตามโครงสร้างได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. Heterogeneous backbone

เป็นกลุ่มของ mannan ที่โครงสร้างหลักประกอบด้วยน้ำตาล 2 ชนิด คือ glucose และแมนโนส (mannose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 เรียกว่า กลูโคแมนแนน (glucomannan) เช่น mannan ในหัวบุก (konjac glucomannan) โดย glucose ในโครงสร้างหลักของ glucomannan นั้นมีการเรียงตัวอย่างกระจัดกระจาย และอัตราส่วนโมเลกุลของน้ำตาล mannose : glucose ในโครงสร้างหลักอยู่ในช่วง 4:1 จนถึง 1:1 (ปาณิสรา, 2551) ซึ่ง mannan จากหัวบุกจะมีอัตราส่วนโมเลกุลของน้ำตาล mannose: glucose เป็น 16:1 และมีอันดับของการเกิดโพลิเมอร์ (degree of polymerization: DP) มากกว่า 6,000

2. Homogeneous backbone

เป็นกลุ่มของ mannan ที่โครงสร้างหลักประกอบด้วย mannose เพียงชนิดเดียว เชื่อมกันด้วยพันธะ β-1,4 และส่วนของกิ่งแขนงเชื่อมต่อกันด้วยพันธะα-1,6 ระหว่างน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) กับ mannose เรียก กลุ่มนี้ว่า กาแลคโตแมนแนน (galactomannan) (Ethier *et al*., 1998) ซึ่งพบมากในพืชเช่น เอนโดสเปิร์มของพืชตระกูลถั่ว กากเมล็ดกาแฟ เนื้อในของเมล็ดปาล์ม และกากมะพร้าวในส่วนของ kernels เป็นต้น ตัวอย่างของ galactomannan ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ galactomannan ใน Locust bean gum (LBG) จาก *Ceratonia siliqua* และ guar gum จากเมล็ดของ *Cyanaposis tetragonolobus* ซึ่ง galactomannan ในพืชแต่ละชนิดมี ความแตกต่างกันที่ตำแหน่งการเชื่อมที่พันธะ α-1,6 ในสายกิ่งแขนงระหว่าง galactose และ mannose โดย galactomannan ใน LBG มีอัตราส่วนโมเลกุลของ mannose: galactose ประมาณ 5:1 มีน้ำหนักโมเลกุล 310,000 ดาลตัน และจะเกิดพันธะ α-1,6 ระหว่าง mannose ประมาณ 3-4 โมเลกุล ขณะที่ glucomannan ใน guar gum มีอัตราส่วนโมเลกุลของ mannose : galactose ประมาณ 2:1 มีน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โมเลกุล 220,000 ดาลตัน และจะเกิดพันธะ α-1,6 ระหว่าง mannose ประมาณ 1-2 โมเลกุล (ปาณิสรา, 2551)

β-mannan เป็น polysaccharides ตัวหนึ่ง และเป็นอนุพันธ์ของ β-galactomannan หรือ β-glucomannan ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์มีมากใน คาโนล่า กากปาล์ม และกากถั่วเหลือง (1.3-1.6 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งจะก่อให้เกิดความข้นหนืดของสิ่งย่อยในลำไส้ มีลักษณะคล้ายเจลข้น และจะขัดขวางการย่อยและการดูดซึมของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เอนไซม์ที่สัตว์ผลิตไม่สามารถย่อยสลายได้ (Patterson, 2001) และส่งผลให้ความชื้นในมูลเพิ่มขึ้น เกิดปัญหามูลเปียก หรือมูลติดก้น (Onifade and Babatunde, 1998)

ผลกระทบของเยื่อใยต่อการทำงานของระบบทางเดินอาหารสัตว์ปีก

สัตว์ปีกมีระบบการย่อยอาหารเป็นแบบกระเพาะเดี่ยวเช่นเดียวกับสุกร มีพื้นที่ในระบบทางเดินอาหารน้อย และมีระบบทางเดินอาหารสั้น กระบวนการย่อยอาหารจึงพัฒนาการทำงานของเอนไซม์เป็นหลัก ส่งผลให้กระบวนการย่อยและดูดซึมอาหารในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีกเป็นไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามสัตว์ปีกจะไม่สามารถย่อยสารอาหารเยื่อใยได้เนื่องจากขาดเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อย ถึงแม้ว่าในไก่ที่โตเต็มที่แล้วจะมีจุลินทรีย์ในไส้ติ่งที่สามารถย่อยเยื่อใยได้เล็กน้อย แต่การนำไปใช้ประโยชน์ได้มีน้อยมาก ประมาณ 2-3% เท่านั้น การย่อยสลายของเยื่อใยเกิดขึ้นอย่างจำกัดในสัตว์กระเพาะเดี่ยว และประสิทธิภาพการทำงานของระบบทางเดินอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อใยที่ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารด้วย (สหชัย, 2538) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียอาหารบางส่วนออกมากับมูล ผลที่เกิดขึ้น คือ สัตว์ปีกจะมีอัตราการกินได้สูงแต่มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ในปัจจุบันจึงมีการนำเอนไซม์ย่อยเยื่อใยมาเสริมในอาหารสัตว์ปีกที่มีเยื่อใยสูง ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการย่อยของโภชนะให้ดีขึ้นได้ (เกศรา, 2555)

NSP สามารถจำแนกได้ตามคุณสมบัติในการละลายน้ำ 2 ประเภท คือ NSP ชนิดที่ละลายน้ำได้ กับ NSP ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ในอาหารที่มีแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์จากพืชเป็นส่วนประกอบจะมีสัดส่วนของเยื่อใยทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้ และที่ละลายน้ำไม่ได้อยู่รวมกัน แต่ NSP ชนิดที่ละลายน้ำได้ มักจะส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ปีกมากกว่า NSP ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสียของ NSP ชนิดที่ไม่ละลายน้ำได้

1. เกิดการหมักของใยอาหารในลำไส้ใหญ่ มีการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ทำให้ท้องอืดเฟ้อ (Claus, 1984)

2. หุ้มสารอาหารไว้ กีดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ เรียกว่าเกิดปฏิกิริยา **"Cage Effect"** ส่งผลให้สัตว์ย่อยอาหารได้ไม่เต็มที่ พบมากในพืชจำพวกข้าวโพด, ข้าวฟ่าง, ข้าว, พืชตระกูลถั่ว เป็นต้น (ชลธิดา, 2557)

3. คุณสมบัติสามารถจับสารที่มีประจุบวกของส่วนประกอบของเยื่อใยอาหารที่มีผลขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ อาหารที่ควรบริโภคจึงควรประกอบด้วยเยื่อใยอาหารที่ไม่มากกว่า 15-20 กรัมต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่ปลอดภัยต่อการนำแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ (Toma and Curtis, 1986)

ข้อเสียของ NSP ชนิดที่ละลายน้ำได้

1. สารกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้ อาหารจึงยึดเกาะกันแน่น ทำให้เกิดความหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร (Viscous digesta) โดยเกิดจากการที่ NSP ที่ละลายน้ำได้แตกตัว และมีลักษณะเป็นสารเหนียวคล้ายวุ้น ซึ่งจะไปห่อหุ้มสารอาหารชนิดอื่น และเป็นอุปสรรคต่อการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการเข้าไปย่อยสารอาหาร NSP ชนิดนี้จึงเป็นสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น (anti-nutrients) (วรรณพรและพันทิพา, 2543) นอกจากนั้นร่างกายสัตว์จะเร่งสร้างเซลล์บุผิวลำไส้มากขึ้นเพื่อหลั่งสารมิวซิน (Mucin) มาช่วยย่อย ผนังลำไส้จึงหนาตัวขึ้น เป็นผลให้การดูดซึมของสารอาหารที่ย่อยแล้วลดลง (ชลธิดา, 2557)

2. อาหารที่มีความข้นหนืดทำให้อาหารเคลื่อนที่ไหลผ่านไปส่วนต่างๆ ผ่านระบบทางเดินอาหารได้ช้าลง ถึงแม้ว่าอาหารจะอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานมากขึ้น แต่สารอาหารดังกล่าวจะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ ส่งผลให้สัตว์รู้สึกอิ่มตลอดเวลา สัตว์จึงกินอาหารลดลง ทำให้สัตว์เติบโตได้ไม่ดี (ชลธิดา, 2557)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เมื่อ NSP และสารอาหารที่หลงเหลือบางส่วนเคลื่อนที่มาบริเวณทางเดินอาหารส่วนปลายจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ ส่งผลให้จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารเพิ่มจำนวนมากขึ้น จึงเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางระบบทางเดินอาหารในสัตว์โดยเฉพาะลูกสัตว์ ในขณะที่ NSP ที่ไม่ละลายน้ำนั้นจะเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารได้เร็วกว่า และจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถย่อยได้น้อยกว่า จึงเกิดปัญหาจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดก่อโรคน้อยกว่า NSP ที่ละลายน้ำได้ (บุญล้อม, 2546)

4. ทำให้มูลของสัตว์ปีกมีลักษณะเหนียวติดก้น และวัสดุรองพื้นเปียก (Bedford and Partridge, 2001) ซึ่งความชื้นอาจเป็นปัจจัยโน้มนำให้จุลินทรีย์ก่อโรคเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดี โดยมีผลกระทบต่อตัวสัตว์โดยตรง

จากที่ได้กล่าวว่า NSP ที่ละลายน้ำได้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการใช้ประโยชน์จากโภชนะ เนื่องจากไปห่อหุ้มสารอาหารต่างๆ เอาไว้ และทำให้สารอาหารถูกย่อยได้น้อยลง ซึ่งจะส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารลดลง และทำให้สัตว์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง (Annison, 1995) นอกจากนี้สารอาหารในสิ่งย่อยที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะถูกจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ใช้ในการเพิ่มจำนวนจนมีประชากรมากขึ้น และจะเคลื่อนย้ายประชากรเข้าสู่ลำไส้เล็กเกิดการแย่งสารอาหารกับตัวสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นแป้งและโปรตีน จึงทำให้สัตว์ได้ประโยชน์จากอาหารลดลง (Bedford, 1993)

เอนไซม์

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาทางชีวเคมี (biocatalyst) ซึ่งมีอยู่ทั้งในพืชและสัตว์ มีหน้าที่กระตุ้นการทำงานของกระบวนการเคมีในร่างกายให้ทำงานรวดเร็วขึ้น เอนไซม์มีความจำเพาะกับสารที่จะทำปฏิกิริยาด้วยที่เรียกว่า สารตั้งต้น (substrate) หรือสารที่มีความจำเพาะเจาะจงในการจับคู่กับเอนไซม์เฉพาะ (substrate specificity) โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นไม่รุนแรง และสามารถควบคุมผลผลิตสุดท้ายที่เกิดขึ้นได้ เอนไซม์จะเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วกว่าที่จะเกิดเองตามธรรมชาติโดยปราศจากเอนไซม์ ทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาเคมีได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและทำให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เอนไซม์แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ (ปราณี, 2543)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. เอนไซม์ที่ช่วยในการเผาผลาญพลังงาน (metabolic enzyme)

เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในเลือด เนื้อเยื่อ อวัยวะต่างๆ เช่น ในปฏิกริยา Kreb's cycle ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงานในเซลล์ของมนุษย์ ปฏิกิริยา Kreb's cycle ต้องอาศัยเอนไซม์หลายตัว กระตุ้นการเกิดให้ปฏิกิริยาทางเคมี และเกิดเป็นพลังงานให้เซลล์ของมนุษย์ ในเซลล์ร่างกายของมนุษย์ยังมีเอนไซม์อีกบางจำพวก ไว้สลายของเสียที่เซลล์ไม่ต้องการ เช่น เอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

2. เอนไซม์ในอาหาร (food enzyme)

เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในอาหารสด เซลล์สัตว์และเซลล์พืช บรรจุอยู่ในไลโซโซม (lysosome) เมื่อไลโซโซมแตกออกก็จะย่อยสลายสารอาหารให้กลายเป็นโมเลกุลเล็กเพื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ได้ง่ายขึ้น

3. เอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร (digestive enzyme)

เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ หลั่งออกมาจากเยื่อบุกระเพาะลำไส้ ตับ และตับอ่อน ทำหน้าที่ย่อยอาหารจากโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง ทำให้ถูกดูดซึมได้ เช่น เอนไซม์อะไมเลส (amylase) มีหน้าที่ย่อยแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาล เป็นต้น โดยที่การทำงานของเอนไซม์จะขึ้นอยู่กับบริเวณ active site ว่ามีความจำเพาะกับสารตั้งต้นตัวใด ด้านโภชนาการเอนไซม์มีความสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการย่อยอาหารซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีต่อเนื่องกันอย่างเป็นลำดับ เพื่อสลายโมเลกุลของสารอาหารให้เป็นโมเลกุลเล็ก มีการสร้างและปล่อยพลังงานจากสารอาหารเหล่านั้นควบคู่กับการนำพลังงานที่ได้ไปสร้างสารพลังงาน พร้อมกับสังเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อการเจริญเติบโตต่อไป (ปราณี, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แหล่งผลิตของเอนไซม์ในอุตสาหกรรม

สิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งพืช สัตว์และจุลินทรีย์ สามารถผลิตเอนไซม์ได้แต่แหล่งผลิตเอนไซม์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ได้แก่ จุลินทรีย์ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. จุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ปริมาณมากๆ ได้ในระยะเวลาสั้น โดยใช้ต้นทุนต่ำกว่าการผลิตจากพืชและสัตว์ เพราะจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่น้อย และยังสามารถเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อราคาถูก และผลิตได้ตลอดเวลาไม่ขึ้นกับฤดูกาล

2. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ที่ต้องการทำได้โดยวิธีการง่ายๆ และใช้ระยะเวลาสั้น

3. จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกันได้ แต่คุณสมบัติบางอย่างต่างกัน จึงสามารถเลือกใช้เอนไซม์ที่เหมาะสม ในสภาวะที่แตกต่างกันได้ตามต้องการ

4. การเพิ่มผลผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์โดยการปรับปรุงพันธุกรรม หรือโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมสามารถทำได้ง่ายกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น (ธีระพงษ์, 2550)

การประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอาหารสัตว์

การย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวเกิดจากการหลั่งเอนไซม์ของตัวสัตว์เอง หรืออาจเกิดจากการหลั่งเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในลำไส้ของตัวสัตว์ อย่างไรก็ตามกระบวนการย่อยอาหารไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ในสัตว์ปีกและสุกรนั้นพบว่าประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทั้งหมดที่กินเข้าไปจะไม่สามารถย่อยได้ เนื่องจากวัตถุดิบในอาหารมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น (anti-nutrients) ซึ่งจะรบกวนกระบวนการย่อย หรืออาจเกิดจากการที่ตัวสัตว์ไม่มีเอนไซม์ที่จำเพาะเจาะจงในการจะย่อยส่วนประกอบบางอย่างที่มีอยู่ในอาหาร ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหารลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง และสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ทั้งในส่วนการผลิตเนื้อและไข่ลดลง ในระบบการผลิตสัตว์นั้นเป็นที่ทราบดีว่าต้นทุนส่วนใหญ่คือ ค่าอาหาร การ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลิตสัตว์ให้ได้กำไรจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของต้นทุนค่าอาหารสัตว์และคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ประโยชน์ได้ ถ้าหากอาหารที่สัตว์กินเข้าไปนั้นตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยได้ตามที่ควรจะเป็น ผลเสียนั้นจะไปตกอยู่กับผู้ผลิตสัตว์และสิ่งแวดล้อม คือ สารอาหารบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะถูกขับออกมาจากตัวสัตว์ในรูปของมูลและของเสียต่าง ๆ มากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้เกิดมลภาวะต่อชุมชนใกล้เคียง จึงมีแนวคิดที่จะเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารจำพวก แป้ง โปรตีน กรดอะมิโน และแร่ธาตุมากขึ้น และยังช่วยกำจัดสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น เช่น เยื่อใย และ ไฟเตท ซึ่งพบมากในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เอนไซม์มีบทบาทสำคัญ เช่น นำไปใช้เพื่อลดความหนืดของอาหาร ย่อยแป้ง และไขมัน ทำให้สัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้ดีขึ้น (จรัญ, 2551) นอกจากนั้นยังมีการเสริมเอนไซม์ในสัตว์ระยะเล็ก เนื่องจากในสัตว์ระยะนี้ยังมีระบบย่อยอาหารที่ไม่สมบูรณ์ การผลิตเอนไซม์จากตัวสัตว์เองอาจจะไม่เพียงพอ เอนไซม์จะไม่มีการตกค้าง เพราะเอนไซม์เป็นโปรตีนเมื่อเข้าสู่ตัวสัตว์ท้ายที่สุดจะถูกย่อยหรือขับออกจากตัวสัตว์เอง (Bedford and Partridge, 2010)

สัตว์กระเพาะเดี่ยว (monogastric animals) เช่น สัตว์ปีก และสุกร เป็นกลุ่มที่ต้องการเสริมเอนไซม์ลงไปในอาหารมากที่สุด เนื่องจากสัตว์เหล่านี้ไม่มีกระเพาะหมักในทางเดินอาหารส่วนต้น จึงไม่มีจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์มาช่วยย่อยอาหาร การเสริมเอนไซม์ในสัตว์ปีกจึงสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. เอนไซม์ที่สัตว์สามารถสร้างได้เอง แต่อาจมีไม่เพียงพอในสัตว์ที่มีอายุน้อย เช่น amylase สำหรับย่อยแป้ง และโปรติเอส (proteases) สำหรับย่อยโปรตีน ดังนั้นการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงสัตว์ระยะเล็กนั้นจึงควรเสริมเอนไซม์ลงในอาหาร เนื่องจากระบบทางเดินอาหารของสัตว์ยังอยู่ในช่วงที่กำลังพัฒนาการผลิตเอนไซม์ เพื่อย่อยสารอาหารต่างๆ การย่อยอาหารยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร จึงควรเสริม proteases และ amylase ลงไปด้วย เพื่อให้การย่อยอาหารและดูดซึมอาหารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ไพโรจน์, 2553)

2. เอนไซม์ที่สัตว์ไม่สามารถสร้างได้เอง เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ในปัจจุบันมักจะมีสารอาหารอื่นที่นอกเหนือจากแป้ง และโปรตีน ในวัตถุดิบจำพวก กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ มี polysaccharide ที่มีชื่อว่า เบต้า-แมนแนน (β-mannan) ไซแลน (xylan) เบต้า-กลูแคน (β-glucan) และ เซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มาก ดังนั้นหาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เราเติมเอนไซม์ที่ย่อย polysaccharide เหล่านี้ลงไปในอาหารสัตว์ ก็จะช่วยย่อย polysaccharide ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจะช่วยให้สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิตได้ เอนไซม์ที่เติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์นี้ได้แก่ β-mannanase, xylanase, β-glucanase และ cellulase (กฤษฎา, 2553)

เอนไซม์ที่ใช้เสริมในอาหารสัตว์ปีก แต่ละชนิดจะมีหน้าที่และกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนี้

เอนไซม์อะไมเลส (Amylase)

Amylase เป็น extracellular enzymes ที่สามารถย่อยแป้งได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับว่าจะย่อยแป้งที่ตำแหน่งใด แป้งที่ประกอบด้วย glucan 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) (ประกอบด้วยหน่วย glucose เชื่อมต่อกันด้วย พันธะ α-1,4) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) (เป็น amylose ที่มีโซ่กิ่งเพิ่มขึ้นโดยมีพันธะ 1,6 เป็นตัวเชื่อม) amylase สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามตำแหน่งการย่อยแป้ง ได้แก่

1. Endoamylase

เป็น amylase ประเภทที่ย่อยแป้งแบบสุ่มที่พันธะ α-1,4 ไกลโคซิดิก (α-1,4-glycosidic) ของ amylose หรือ amylopectin แต่ไม่ย่อยที่พันธะ α-1,6-glycosidic ของ amylopectin ถ้าการย่อยเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จะได้มอลโทส (moltose) และ glucose แต่ถ้าไม่สมบูรณ์จะได้ glucose, moltose และ dextrin เอนไซม์ประเภทนี้ได้แก่ α-amylase

2. Exoamylase

เป็น amylase ที่ย่อยแป้งจากปลายด้านที่ไม่ใช่รีดิวส์ซิ่ง (non-reducing end) เข้าไป เอนไซม์ประเภทนี้ได้แก่ β-amylase และกลูโคอะไมเลส (glucoamylase) โดย β-amylase จะย่อยแป้งที่ตำแหน่งพันธะ α-1,4-glycosidic เข้าไปทีละ 2 หน่วยของ glucose ทำให้ได้น้ำตาล moltose และ limit dextrin สำหรับ glucoamylase นั้นสามารถย่อยแป้งได้อย่างสมบูรณ์จาก non-reducing

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

end ที่ตำแหน่งต่างๆ คือ ที่พันธะ 1,6 และ α-1,4-glycosidic ทำให้ได้น้ำตาล glucose โดยไม่มี dextrin หรือ moltose มาด้วย (ธีระพงษ์, 2550)

เอนไซม์โปรติเอส (Protease)

Protease คือ เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ (peptide bond) ของโปรตีนด้วยน้ำ ปัจจุบัน protease ถูกจำแนกโดยเกณฑ์หลัก 3 ข้อ คือ รูปแบบของการเร่งปฏิกิริยา ลักษณะทางเคมีของบริเวณที่เกิดการเร่งปฏิกิริยา และความเกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อโครงสร้าง โดยทั่วไป protease แบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา คือ เอ็กโซเปปติเดส (exopeptidase) และ เอนโดเปปติเดส (endopeptidase)

1. Exopeptidase

เอนไซม์ที่เกิดปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ จากปลายด้านอะมิโนหรือปลายด้านคาร์บอนซีของสารตั้งต้น จากตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาที่ปลายอะมิโนและปลายคาร์บอนซีทำให้สามารถแบ่ง exopeptidase ได้เป็นอะมิโนเปปติเดส (aminopeptidase) และคาร์บอกซีเปปติเดส (carboxypeptidase)

1.1 Aminopeptidase คือ เอนไซม์ที่เกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งด้านปลายอะมิโนอิสระ (N-terminal) ของสายพอลิเพปไทด์ แล้วให้กรดอะมิโนโมเลกุลเดี่ยว ไดเพปไทด์ และไตรเพปไทด์ aminopeptidase สามารถพบได้ในจุลินทรีย์หลายชนิดทั้งแบคทีเรียและรา ซึ่งโดยทั่วไป aminopeptidase จะพบอยู่ภายในเซลล์ (intracellular enzyme)

1.2 Carboxypeptidase คือ เอนไซม์ที่เกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งด้านปลายของคาร์บอกซี (C-terminal) ของสายพอลิเพปไทด์ แล้วให้กรดอะมิโนโมเลกุลเดี่ยวหรือไดเพปไทด์ คาร์บอกซีเพปติเดสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ตามลักษณะของกรดอะมิโนที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ คือ ซีรีนคาร์บอกซีเปปติเดส (serine carboxy peptidase) เมทิลโลคาร์บอกซี เปปติเดส (metallo carboxypeptidase) และซีสเตอินคาร์บอกซีเปปติเดส (cystein carboxypeptidase)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. Endopeptidase

เอนไซม์ที่เกิดปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ ภายในสายของพอลิเพปไทด์ ทางปลายด้านอะมิโนและปลายคาร์บอกซี ดังนั้นการที่มีหมู่อะมิโนหรือคาร์บอกซีอิสระจะมีผลกระทบในทางลบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ endopeptidase สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มย่อย ตามลักษณะกลไกการเร่งปฏิกิริยา คือ serine-protease aspartic-protease Cysteine-protease และ metylo-protease (นาฏฤดี, 2543)

เอนไซม์ไซลาเนส (xylanase)

Xylan เป็น heteropolysaccharide ที่มีไซโลส (xylose) เป็นโครงสร้างหลัก มีแขนงเป็นน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้น xylan จึงต้องการกิจกรรมของระบบเอนไซม์หลายชนิดที่ทำงานร่วมกัน เช่น เอนไซม์ที่ย่อยโครงสร้างหลัก (endoxylanase และ β-xylosidase) และเอนไซม์ที่ย่อยแขนง (α-glucuronidase, acetylxylan esterase และ β-xylosidase) โดยเอนไซม์ทั้งสองกลุ่มทำงานร่วมกันในการเปลี่ยน xylan ให้เป็น xylose (Sunna and Antranikian, 1997) โดย xylanase ที่ย่อยสลายโครงสร้างหลักมีดังนี้

1. Endoxylanase

Endo-1,4-β-D-xylanases ทำหน้าที่ย่อยสลาย 1,4-β-D-xylosidic bond ของโครงสร้างหลัก ทำให้ค่า degree of polymerization ลดลง การเข้าย่อยสารตั้งต้นเป็นแบบสุ่ม แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์หลักสุดท้ายของการย่อย xylan ได้แก่ xylooligosaccharides ที่มีขนาดสายสั้นๆ เช่น xylose, xylobiose หรือ xylotriosc เป็นต้น

2. β-xylosidase

Exo-1,4-β-D-xylosidase ทำหน้าที่เร่งการย่อยของพันธะ 1,4-β-D-xylooilgosaccharides สายสั้นๆ และย่อย xylobiose ได้จากทางด้าน non-reducing end ทำให้ได้น้ำตาล D-xylose residues อิสระ β-xylosidase เป็นเอนไซม์ที่มีมวลโมเลกุลใหญ่เกินกว่า 100 กิโลดาลตัน และส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 subunit หรือมากกว่า β-xylosidase มีกิจกรรมสูงสุดต่อ xylobiose และไม่มีกิจกรรม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อ xylan ส่วนกิจกรรมต่อ xylooligosaccharides โดยทั่วๆ ไปลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีความยาวของสาย xylooligosaccharide เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าผลิตภัณฑ์หลักของการย่อยด้วย β-xylosidase คือ น้ำตาล xylose ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของตัวเอนไซม์เองแบบแข่งขันได้ (จิรนาถ, 2543)

เอนไซม์แมนนาเนส (mannanase)

ดังที่กล่าวข้างต้นว่า สารประกอบ mannan ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสเป็นโครงสร้างสายหลัก และอาจมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ในโครงสร้างด้วย ดังนั้นในการย่อยสลายสารประกอบ mannan อย่างสมบูรณ์จึงจำเป็นต้องใช้เอนไซม์หลายชนิดทำงานร่วมกันดังนี้

1. β-mannanase

1.1 แหล่งของเอนไซม์ β-mannanase

เอนไซม์ β-mannanase สามารถผลิตได้จากหลายกลุ่มของสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรียทั้งชนิดที่ต้องการ และไม่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต (aerobic and anaerobic bacteria) เชื้อรา (Fungi) ยูคาริโอตชั้นสูง (Higher eukaryote) เช่น โปรโตซัว แมลง หอยทาก รวมทั้งเมล็ดพืชขณะที่เกิดการงอก (Germinating plant seeds)

1.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ β- mannanase

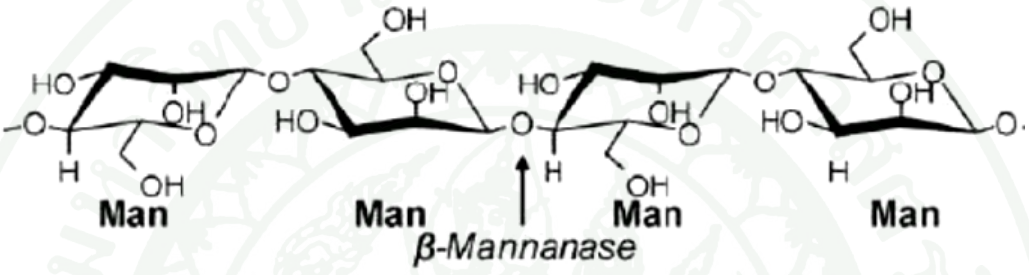
เอนไซม์ β-mannanase เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ β-1,4 ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของน้ำตาล mannose ในโครงสร้างหลักของ mannan, galactomannan, glucomannan และ galacto-glucomannan ในลักษณะแบบสุ่มโดยจะย่อยสลายจากบริเวณด้านในโมเลกุล และผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลาย คือ น้ำตาล แมนโนไตรโอส (mannotriose) และแมนโนไบโอส (mannobiose)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. เอนไซม์ เบต้า-แมนโนสิเดส (β-mannosidase)

2.1 แหล่งของเอนไซม์ β-mannosidase

เอนไซม์ β-mannosidase เป็นเอนไซม์ที่มีการศึกษากันมากในกลุ่มของพืช เนื้อเยื่อสัตว์ จุลินทรีย์ แบคทีเรีย และเชื้อรา



ภาพที่ 5 โครงสร้างสารประกอบแมนแนนและการย่อยสลายแมนแนนจากเบต้า-แมนนาเนส

ที่มา: Zyl *et al.* (2010)

2.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ β-mannosidase

เอนไซม์ β-mannosidase เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ β-1,4 ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของน้ำตาล mannose โดยจะตัดจากบริเวณปลายนอกสุดของโมเลกุลเข้าไปจาก non-reducing end ของสารตั้งต้นจำพวกแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (manno-oligosaccharide) และไกลโคเปบไทด์ (glycopeptide) ที่มีน้ำตาล mannose เป็นองค์ประกอบ (manno-containing glycopeptides) โดยจะเรียกเอนไซม์กลุ่มนี้ว่า เอกโซไกลโคสิเดส (exoglycosidase) และสารตั้งต้นส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม manno-oligosaccharide เช่น mannotriose และ mannobiose ทำให้ได้ผลผลิตสุดท้ายคือ น้ำตาล mannose โมเลกุลเดี่ยว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เอนไซม์ α-กาแลคโตสิเดส (α-galactosidase)

3.1 แหล่งของเอนไซม์ α-galactosidase

เอนไซม์ α-galactosidase เป็นเอนไซม์ที่สามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งพบทั้งชนิดที่ผลิตและเก็บอยู่ภายในเซลล์ (intracellular enzyme) และชนิดที่ผลิตแล้วขับออกนอกเซลล์ (extracellular enzyme)

3.2 กลไกการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ α-galactosidase

เอนไซม์ α-galactosidase เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ α-1,6 ของน้ำตาล galactose โดยจะย่อยสลายจากบริเวณปลายสุดของ galactomannan หรือ galacto-glucomannan และ oligosaccharide อื่นๆ ทำให้ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นน้ำตาล galactose (ปาณิสรา, 2551)

การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นอาหารสัตว์

การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในอาหารไก่เนื้อ

Osei and Amo (1987) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ PKM ที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0-15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่กระทงพบว่า ปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวที่เพิ่มนั้นจะลดลง ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลงเมื่อมี PKM ในระดับที่สูงเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร อาจจะเกิดจากลักษณะทางกายภาพของ PKM คือ ความหนาแน่น (0.57g/cm^3) และ ความสามารถจับน้ำหรือการอุ้มน้ำ (2.93 g water/g feed) (Sundu *et al.,* 2005b) ซึ่งทั้งสองคุณสมบัตินี้ส่งผลในการลดการกินได้ของสัตว์ (Kyriazakis and Emmans, 1995) เช่นเดียวกับการรายงานของ อุทัย (2529) พบว่าการใช้ PKM สามารถใช้เป็นอาหารไก่เนื้อระยะแรก (0-4 สัปดาห์) ระยะก่อนส่งตลาด (5-8สัปดาห์) ได้ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้ในระดับที่มากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ นั้นพบว่าช่วยลดต้นทุนค่าอาหารได้จริง แต่มีผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารมีแนวโน้มลดต่ำลง อาจเนื่องมาจากปริมาณเยื่อใยที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลตอบแทนที่ได้รับอาจไม่คุ้มค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม Ngoupayou (1984) รายงานว่าการใช้ PKM ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่กระทง ไม่มีผลต่อความน่ากิน ปริมาณอาหารที่กินและอัตราการตาย (P>0.05) เช่นเดียวกับ Yeong (1981) ที่รายงานว่า การใช้ PKM ในสูตรอาหารไก่กระทงที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์เป็นระดับที่เหมาะสม แต่ PKM นั้นมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำ จึงควรต้องมีการเสริมแหล่งของพลังงานอื่นๆ เช่น ไขมันสัตว์ หรือไขมันพืชลงไปในสูตรอาหาร เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการเมื่อมีการเพิ่มระดับของ PKM ที่ใช้ในสูตรอาหาร เพื่อให้เกิดความสมดุลของปริมาณพลังงานในอาหารสัตว์

Yeong *et al.* (1983) ได้ทดลองใช้ PKM แทนข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในระดับ 10, 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า PKM ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นลดลง และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลงกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่ปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกัน และแนะนำให้ใช้ PKM ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่เนื้อ จากการศึกษาของวินัยและคณะ (2528) พบว่าระดับการใช้ PKM ที่มีโปรตีน 10.80 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10.30 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 27.25 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่เนื้อ พบว่าในระยะไก่เล็ก (0-4 สัปดาห์) สามารถใช้ PKM ในสูตรอาหารได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่ต่ำลงในกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับที่สูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณเยื่อใยที่สูงในอาหาร แต่ไก่ในระยะรุ่น (4-8 สัปดาห์) สามารถใช้ได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต

Nwokolo *et al.* (1977) รายงานว่าสามารถใช้ PKM ในสูตรอาหารไก่เนื้อได้สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างจากกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับงานของ Panigrahi และ Powell (1991) ที่ได้ทำการศึกษาโดยใช้ PKM ที่ระดับ 0-50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่เนื้อที่เสริมด้วยน้ำมันข้าวโพดที่ระดับ 0.74, 6.40, 8.90 และ 11.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของทุกกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนในกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

Amino Acids	Composition (%)			Availability	0-3 weeks of broiler
	(A)	(B)	(C)	(B) (%)	Requirements (D) (%)
Arginine*	2.18	2.68	2.4	93.2	1.25
Cystine	0.2	-	-	-	(Cys + Meth) 0.90
Glycine	0.82	0.91	0.84	63.3	(Glycine + Serine) 1.25
Histidine*	0.29	0.41	0.34	90.1	0.35
Isoleucine*	0.62	0.6	0.61	86.1	0.8
Leucine*	1.11	1.23	1.14	88.5	1.2
Lysine*	0.59	0.69	0.61	90	1.1
Methionine*	0.3	0.47	0.34	91	(Cys + Meth) 0.90
Phenylanine*	0.73	0.82	0.74	90.5	(Phenyl + Tyrosine) 1.34
Threonine*	0.55	0.66	0.6	86.5	0.8
Tyrosine	0.38	0.58	0.47	85	(Phenyl + Tyrosine) 1.34
Serine	0.69	0.9	0.77	88.7	(Glycine + Serine) 1.25
Valine*	0.93	0.43	0.8	68.4	0.9
Tryptophan*	0.17	-	0.19	-	0.2

หมายเหตุ * กรดอะมิโนที่จำเป็น, (A): Yeong, 1983; (B) Nwokolo et al., 1976; (C) Hutagalung, 1980; (D) NRC, 1994

ที่มา: Esuga (2007)

การใช้ PKM ในอาหารที่ระดับสูงมีผลให้ประสิทธิภาพในการใช้อาหารของไก่กระทงต่ำลง อาจมีผลมาจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ การใช้ประโยชน์ได้ของ PKM และความสมดุลของกรดอะมิโนใน PKM เนื่องมาจาก PKM มีกรดอะมิโนไลซีน และเมทไธโอนีนประมาณ 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนที่ไก่ต้องการ ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จึงมีการศึกษาการเสริมกรดอะมิโนในอาหารไก่เนื้อที่มี PKM โดย Armas and Chicco (1997) พบว่าการเลี้ยงไก่กระทงจะใช้สูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของ PKM ที่ระดับ 15, 30 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการเสริมและไม่เสริม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดอะมิโนแอล-ไลซีน และดีแอล-เมทไธโอนีน เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่ใช้ PKM โดยอาหารทุกสูตรมีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากัน พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM 45 เปอร์เซ็นต์ และไม่เสริมกรดอะมิโน ในสูตรอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าไก่กลุ่มอื่นๆ แต่การเสริมกรดอะมิโนแอลไลซีน และดีแอล-เมทไธโอนีน สามารถทำให้การเจริญเติบโตของไก่ดีขึ้น และถ้าหากใช้ PKM ที่ระดับสูงขึ้นและไม่เสริมกรดอะมิโนในสูตรอาหาร จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้อาหารของไก่กระทงต่ำลง และจากการศึกษาของ ประพจน์ (2543) ที่ศึกษาระดับการใช้ PKM ในอาหารไก่กระทง 4 ระดับ คือ 0, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ในไก่อายุ 0-3, 3-6 และ 6-8 สัปดาห์ พบว่าระดับ PKM ที่เหมาะสมในแต่ละช่วงอายุ คือ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่ากลุ่มที่ใช้ PKM มีน้ำหนักตัว และประสิทธิภาพในการใช้อาหารเทียบเท่ากับกลุ่มที่ไม่ใช้ PKM ในอาหาร โดยสูตรอาหารที่ใช้ PKM มีการเสริมกรดอะมิโน เมทไธโอนีน ไลซีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟนตามคำแนะนำของ NRC (1994)

การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในอาหารไก่ไข่

Onwudike (1986) รายงานว่า PKM สามารถใช้ทดแทนกากถั่วลิสงในสูตรอาหารไก่ไข่ระยะเล็กได้ 60 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีน โดยไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และปริมาณอาหารที่กิน ส่วนในระยะไก่สาวนั้นสามารถใช้ PKM ทดแทนกากถั่วลิสงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งโปรตีน โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร) และระดับที่เหมาะสมที่สามารถใช้ได้ในสูตรอาหาร คือ 38 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่ ต่างจากการศึกษาของ Yeong (1981) ที่ได้ทดลองใช้ PKM ในระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ในช่วงอายุ 26-56 สัปดาห์ พบว่าการใช้ PKM ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ส่งผลให้ผลผลิตไข่ และมวลไข่สูงกว่า และมีประสิทธิภาพการใช้อาหาร (ปริมาณอาหารที่กิน/มวลไข่) ดีกว่าใช้ในระดับอื่นๆ ส่วนของคุณภาพไข่ พบว่าการใช้ PKM ทุกระดับไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของไข่แดง ไข่ขาว ค่าฮอฟ์ยูนิต และความหนาของเปลือกไข่ ในส่วนของค่าสีไข่แดงพบว่ามีค่าลดลงเมื่อมีการใช้กากเนื้อในปาล์มในระดับที่เพิ่มขึ้น

การใช้ PKM ในระดับที่สูงจะส่งผลให้อาหารมีปริมาณกรดอะมิโนที่ไม่สมดุล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตของไก่ไข่ลดต่ำลง จึงมีการศึกษาการเสริมกรดอะมิโนในอาหารที่มี PKM อยู่ โดย เสาวนิตและคณะ (2541) ได้ทำการศึกษาการใช้ PKM แทนข้าวโพดในอาหารไก่สาวทดแทน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พันธุ์อีซ่าบราวน์ ช่วงอายุ 2-10 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบการเสริมและไม่เสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีน และไลซีนในสูตรอาหารที่มี PKM ที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM ทุกระดับร่วมกับการเสริมกรดอะมิโน มีน้ำหนักตัวที่เพิ่ม และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่ต่างกันกันทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าไก่กลุ่มที่ใช้ PKM ในระดับ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ไม่เสริมเมทไธโอนีนและไลซีนในอาหาร จะส่งผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่ม และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าไก่กลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) นอกจากนี้ เสาวนิต และคณะ (2544) รายงานว่าการใช้ PKM เป็นอาหารไก่ไข่ระยะให้ไข่ในช่วงอายุ 18-33 สัปดาห์ โดยใช้ PKM ในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยเสริมและไม่เสริมเมทไธโอนีนและไลซีน พบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนมีอายุการให้ไข่ฟองแรกเร็วกว่ากลุ่มอื่น และไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนมีเปอร์เซ็นต์ไข่สูงที่สุด ส่วนของค่าสีไข่แดงจะมีสีเหลืองจางลงตามระดับที่เพิ่มขึ้นของ PKM ในสูตรอาหาร

จากการศึกษาของ Onwudike (1988) พบว่าสามารถใช้ PKM ในอาหารไก่ไข่ที่มีกรดอะมิโนสมดุลได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลเสียต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่และคุณภาพไข่ และถ้าใช้มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร จะทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปริมาณการกินอาหารลดลง อีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลงด้วย

การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเป็นอาหารสุกร

วินัยและคณะ (2528) ได้ทำการทดลองใช้ PKM ที่มีโปรตีน 12.94 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 14.19 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ไขมัน 15.70 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรรุ่นขุน พบว่าปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน (P>0.05) นอกจากนี้ ยุทธนา (2530) ได้ทดลองใช้ PKM ในอาหารสุกรน้ำหนัก 37–96 กิโลกรัม ที่ระดับ 0, 10, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพซาก ไม่แตกต่างกัน(P>0.05) แต่พบว่ากลุ่มที่ได้รับ PKM ที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์มีความหนาของไขมันสันหลังบางกว่ากลุ่มที่ได้รับ PKM 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทวีศักดิ์ (2543) ได้ศึกษาระดับ PKM 4 ระดับ คือ 0, 20, 35, และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสุกรขุน 2 ระยะ คือ 30-60 และ 60-90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเสริมกรดอะมิโนไลซีนและกากน้ำตาลในสูตรอาหารที่ใช้ PKM ผลการทดลองพบว่า สามารถใช้ PKM ได้สูงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรระยะ 30-60 กิโลกรัม และสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะ 60-90 กิโลกรัม โดยไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม นอกจากนี้มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวต่ำกว่า สำหรับคุณภาพซากพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ระหว่างสุกรที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ PKM ทุกระดับ

การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูง

เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มาจากพืช และมี NSP เป็นองค์ประกอบอยู่สูงในส่วนของผนังเซลล์ ขณะที่ภายในเซลล์จะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์อยู่ แต่เนื่องด้วยสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยผนังเซลล์พืชได้ด้วยน้ำย่อยของตัวสัตว์เอง จึงได้มีแนวคิดในการเสริมเอนไซม์รวมซึ่งจะประกอบด้วยเอนไซม์ 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์พืชเพื่อที่จะปลดปล่อยสารอาหารภายในเซลล์ ส่วนกลุ่มที่ 2 คือเอนไซม์ที่สัตว์สามารถผลิตได้ แต่เสริมเพื่อช่วยในการย่อยสารอาหารให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

โดยปกติการใช้ PKM เป็นวัตถุดิบอาหารไก่นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องระดับการใช้ เนื่องจาก PKM มีปริมาณเยื่อใยที่สูง และเมื่อใช้สูตรอาหารที่ระดับสูงขึ้น จะส่งผลให้มีปริมาณเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการใช้อาหารต่ำลง (สุธาและคณะ, 2534) และยังพบว่า PKM มี NSP ที่ละลายน้ำได้ เช่น mannan เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่มีเอนไซม์ในการย่อย ซึ่งจะส่งผลให้ระบบทางเดินอาหารของสัตว์เกิดความหนืดเพิ่มมากขึ้น การย่อยได้ของสัตว์ลดลง และส่งผลไปถึงความสามารถในการดูดซึมอาหารของสัตว์ลดลงด้วย ในส่วนของ PKM มีลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น (bulk density) และ ความสามารถจับน้ำหรือการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity; WHC) ประมาณ 0.57g/cm^3 และ 2.93 g water/g feed ตามลำดับ (Sundu *et al.,* 2005b) ทั้งสองคุณสมบัตินี้มีความสำคัญต่อการกินได้ของสัตว์ (Kyriazakis and Emmans, 1995) โดยปกติไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM เป็นวัตถุดิบหลัก มักจะมีการกินได้สูงกว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่มีข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลัก (Sundu *et al.,* 2005a) อาจเนื่องมาจากใน PKM มีเยื่อใย และสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ สัตว์จึงไม่สามารถย่อยและนำสารอาหารไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้สัตว์ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงต้องกินในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น PKM มีปัญหาเกี่ยวกับความน่ากินเพราะมีลักษณะแห้งและมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น กะลา (McDonald *et al.*, 1988)

เยื่อใยที่มีอยู่สูงในอาหารสัตว์เป็นอุปสรรคในการย่อยอาหารของสัตว์ เนื่องจากน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารไม่สามารถย่อยเยื่อใยได้ ถึงแม้ว่าในไก่ที่โตเต็มที่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งจะสามารถย่อยเยื่อใยได้เล็กน้อย แต่ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อใยที่เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหาร (Longe, 1984) ข้อจำกัดนี้อาจจะสามารถบรรเทาได้โดยการเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยในอาหารด้วยการเสริมเอนไซม์ กุศล (2539) กล่าวว่าเอนไซม์ที่เพิ่มลงในอาหารเชื่อว่ามีหน้าที่อยู่ 2 ประการ คือ การเสริมเอนไซม์จะย่อยสลายโพลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) แล้วช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในลำไส้เล็ก ส่งผลให้อาหารในลำไส้เล็กเกิดการคลุกเคล้ากับเอนไซม์ได้ดีขึ้น เพิ่มการย่อยและการดูดซึมของสารอาหาร และอัตราการไหลผ่าน ซึ่งจะส่งผลให้ลดปริมาณสารอาหารที่หลงเหลือไปเป็นอาหารของจุลินทรีย์ (Choct *et al.*, 1999) นอกจากนี้ เมื่อ polysaccharides ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ถูกย่อยสลายจะช่วยปลดปล่อยโภชนะภายในเซลล์ ทำให้เอนไซม์จากระบบทางเดินอาหารสามารถย่อยสลายแป้งและโปรตีนได้เพิ่มขึ้น นำไปสู่การเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร และส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของสัตว์ และคุณภาพซากสัตว์ดีขึ้น

จากการที่ PKM มี mannan ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อใยที่ละลายน้ำได้ และส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงได้มีการศึกษาการเสริมเอนไซม์ mannanase ในอาหารที่มี PKM เป็นองค์ประกอบ จากการศึกษาของ Sundu *et al.* (2005a) พบว่าการใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลาย mannan สามารถช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในลำไส้เล็กส่วนปลายของไก่ที่ได้รับอาหารที่มี PKM ได้ 3-4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ แต่เมื่อใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลาย mannan ร่วมกับเอนไซม์รวม (phytase, xylanase, protease, cellulase, beta-glucanase, amylase) พบว่าสามารถช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในลำไส้ส่วนปลายได้มากถึง 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ และการศึกษาของพิเชษฐ์ (2543) โดยใช้เอนไซม์รวม และเอนไซม์ mannanase ที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เสริมในสูตรอาหารสุกรระยะเล็กและสุกรระยะรุ่นที่มีรำข้าวและ PKM เป็นวัตถุดิบหลักในสูตรอาหาร พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของสารอาหารในสุกร แต่มีแนวโน้มที่จะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของ neutral detergent fiber (NDF) ในอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Eustace and Bina (2005) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงไก่เนื้อ โดยใช้เอนไซม์รวมที่ประกอบด้วย protease และ xylanase เสริมในสูตรอาหารที่มี PKM เปรียบเทียบกับอาหารควบคุมที่ไม่เสริม PKM และเอนไซม์ ซึ่งพบว่าในระยะไก่เล็กอาหารที่เสริมเอนไซม์มีผลทำให้น้ำหนักตัวและปริมาณอาหารที่กินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ xylanase ช่วยย่อยผนังเซลล์และปลดปล่อยสารอาหารภายในเซลล์ ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน และเยื่อใยรวมเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) แต่ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน ในระยะไก่รุ่นพบว่าอาหารที่เสริมเอนไซม์ส่งผลทำให้ปริมาณการกินอาหารของไก่เนื้อเพิ่มขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงเมื่อเทียบกับอาหารควบคุม อาจเป็นเพราะในสัตว์ระยะรุ่นมีการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารอย่างเต็มที่แล้ว การเสริมเอนไซม์ในระยะนี้จึงไม่เห็นผลชัดเจน

Sekoni *et al*. (2008) ทำการศึกษาการเลี้ยงไก่เนื้อพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์ ด้วยอาหารที่มี PKM ที่ระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่มีการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์รวม (amylase, protease, glucanase, exocellulase, phytase, lipase pectinase และ xylanase) พบว่ากลุ่มที่มีการเสริมเอนไซม์ในอาหารที่มี PKM ส่งผลให้มีการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารประเภทโปรตีน และพลังงานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มี PKM และไม่มีการเสริมเอนไซม์

ดังจะเห็นได้ว่าการเสริมเอนไซม์ amylase, protease, xylanase และ mannanase ในอาหารสัตว์ที่มี PKM นั้น มีแนวโน้มที่จะช่วยปรับปรุงการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร และสมรรถภาพการผลิตของไก่ดีขึ้น จึงได้มีการศึกษาผลการเสริมเอนไซม์สองรูปแบบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ในครั้งนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุแรกเกิด จำนวน 1,800 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 50 ตัว เป็นเพศผู้ 25 ตัว เพศเมีย 25 ตัว ไก่เนื้อถูกเลี้ยงในระบบโรงเรือนปิด ใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้น และได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*Ad libitum*) ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาทดลอง 35 วัน

อาหารทดลอง

อาหารทดลองนั้นจะคำนวณสูตรอาหารให้มีองค์ประกอบและปริมาณโภชนะที่ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ 2 ระยะ คือ ระยะไก่เล็ก (อายุ 1-17 วัน) และระยะไก่รุ่น (อายุ 18-35 วัน) (ตารางที่ 5) และงดการเสริมยากันบิด (ประกอบด้วยซาลิโนมัยซิน 66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร) ในอาหาร 7 วันก่อนสิ้นสุดการทดลอง ไก่เนื้อได้รับอาหารทดลองในรูปอาหารขบแตกในไก่ระยะเล็กและอาหารอัดเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรในไก่ระยะรุ่น โดยไก่แต่ละกลุ่มจะได้รับการสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 6 สูตร (ตารางที่ 4)

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงไก่เนื้อ

1.1 โรงเรือนปิดที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system)

1.2 หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 ดวงต่อคอก สำหรับกกลูกไก่ในช่วง 3 สัปดาห์แรก

1.3 ถังแขวนให้อาหาร และถังใส่อาหารทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 อุปกรณ์ให้น้ำ

1.5 เครื่องชั่งดิจิตอล

2. อุปกรณ์สำหรับชำแหละซากไก่

2.1 อุปกรณ์สำหรับการชำแหละซาก

2.2 เครื่องชั่งดิจิตอล

ตารางที่ 4 การจัดกลุ่มอาหารที่ใช้ทดลอง

กลุ่มทดลอง	ระยะไก่เล็ก	ระยะไก่รุ่น
1	PKM 5%	PKM 10%
2	PKM 7.5%	PKM 15%
3	PKM 5% + XAP	PKM 10% + XAP
4	PKM 7.5% + XAP	PKM 15% + XAP
5	PKM 5% + M	PKM 10% + M
6	PKM 7% + M	PKM 15% + M

หมายเหตุ PKM = palm kernel meal, XAP = เอนไซม์รวมประกอบด้วย xylanase, amylase, protease, M = เอนไซม์ mannanase (ปริมาณที่เสริมเท่ากับ 0.03%)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ (กิโลกรัม)	ระยะไก่เล็ก		ระยะไก่รุ่น	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ข้าวโพด	48.72	45.78	47.99	42.11
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	5.00	7.50	10.00	15.00
น้ำมันรำข้าว	0.97	1.66	3.42	4.81
กากถั่วเหลือง 46%CP	21.27	21.01	19.86	19.34
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	20.00	20.00	15.00	15.00
แอล-ไลซีน	0.20	0.20	0.09	0.09
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.24	0.24	0.22	0.23
โคลีนคลอไรด์ 50 เปอร์เซ็นต์	0.005	0.006	0.004	0.005
โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟต (P 21)	1.65	1.66	1.54	1.54
แคลเซียมคาร์บอเนต	1.29	1.28	1.22	1.19
เกลือ	0.41	0.41	0.42	0.42
พรีมิกซ์[1]	0.25	0.25	0.25	0.25
ทั้งหมด	100	100	100	100
องค์ประกอบทางโภชนะโดยการคำนวณ (เปอร์เซ็นต์)				
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	2,975.00	2,975.00	3,050.00	3,050.00
โปรตีน	22.00	22.00	20.00	20.00
เถ้า	2.09	2.13	2.19	2.29
ไขมัน	6.81	7.54	8.60	10.06
เยื่อใย	4.30	4.59	4.69	5.27
แคลเซียม	0.90	0.90	0.85	0.85
ฟอสฟอรัสรวม	0.77	0.77	0.73	0.74
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.42	0.42
เกลือ	0.52	0.53	0.53	0.55
ไลซีน	1.31	1.31	1.10	1.10
เมทไธโอนีน	0.58	0.58	0.54	0.55
เมทไธโอนีน+ซีสทีน	0.92	0.92	0.85	0.85
โคลีน (mg/kg)	1,500.00	1,500.00	1,300.00	1,300.00
โซเดียม	0.18	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ สูตรที่ 1 อาหารพื้นฐานเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับต่ำ 5 และ 7.5 % ในอาหารระยะไก่เล็ก และรุ่น สูตรที่ 2 อาหารพื้นฐานเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับสูง 10 และ 15 % ในอาหารระยะไก่เล็ก และรุ่น

[1] พรีมิกซ์วิตามิน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วยวิตามินเอ 4,800,000 IU วิตามินดี 3 (D_3) 3,000 IU วิตามินอี 6 ก. วิตามินเค 0.6 ก. วิตามินบี 1 (B_1) 0.6 ก. วิตามินบี 2 (B_2) 2.2 ก. วิตามินบี 6 (B_6) 0.8 ก. วิตามินบี 12 (B_{12}) 4 มก. กรดนิโคตินิก 10 ก. กรดแพนโทเธนิก 4.8 ก. กรดโฟลิก 0.2 ก. ไบโอติน 48 มก. สังกะสี 24 ก. เหล็ก 16 ก. ทองแดง 3.2 ก. ไอโอดีน 0.2 ก. โคบอลต์ 40 มก. ซีลีเนียม 40 มก.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองใช้แผนการทดลองแบบ 2 x 3 แฟคทอเรียล แบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design) ซึ่งประกอบด้วย

ปัจจัย A = ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มในอาหาร ซึ่งมี 2 ระดับ คือ

a1 = กากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับต่ำ (5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารระยะไก่เล็ก และระยะไก่รุ่น)

a2 = กากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับสูง (10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารระยะไก่เล็ก และระยะไก่รุ่น)

ปัจจัย B = การเสริมเอนไซม์ ซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ

b1 = การไม่เสริมเอนไซม์

b2 = การเสริมเอนไซม์รวม (อะไมเลส โปรติเอส และไซลาเนส; XAP)

b3 = การเสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)

โดยมีรูปแบบหุ่น ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

เมื่อ Y_{ijk} = ค่าสังเกตของไก่แต่ละตัว

μ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

A_i = อิทธิพลของระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มในอาหาร (i = 1, 2)

B_j = อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์ (j = 1, 2, 3)

AB_{ij} = อิทธิพลร่วมของระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มและการเสริมเอนไซม์

ε_{ijk} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดการเลี้ยงดู

ทำการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อในโรงเรือนปิดที่ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) และใช้แกลบเป็นวัสดุรองพื้น โดยให้ไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*Ad libitum*) ตลอดการทดลอง ให้อาหารโดยใช้ระบบถังแขวน และมีถังให้น้ำอัตโนมัติ ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 35 วัน โดยไก่เนื้อทุกตัวจะได้รับการทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (ND) และหลอดลมอักเสบ (IB) ที่อายุ 7 วัน วัคซีนป้องกันโรคกัมโบโร่ (IBD) ที่อายุ 14 วัน และวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (ND) และหลอดลมอักเสบ (IB) ซ้ำอีกครั้งหนึ่งที่อายุ 21 วัน

การบันทึกข้อมูล

1. สมรรถภาพการผลิต

การบันทึกผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ไก่อายุ 1-17 วัน (ระยะไก่เล็ก) และ 18-35 วัน (ระยะไก่รุ่น) โดยในแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลดังนี้

1.1 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งไก่ทุกตัวในทุกกลุ่มการทดลอง เมื่ออายุ 1, 17 และ 35 วัน แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

1.2 บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุของแต่ละกลุ่มการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อตัว

1.3 บันทึกจำนวนไก่ตายในแต่ละกลุ่มการทดลองเป็นรายวัน แล้วนำมาคำนวณอัตราการตาย

1.4 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทุกวัน วันละ 2 ครั้ง คือ 7.00 และ 15.00 น. เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน

1.5 สุ่มเก็บอาหารทดลองของทุกสูตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัว (กรัม/ตัว)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมดที่ชั่ง}}$$

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

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed per gain ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}$$

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนไก่ที่ตาย x 100}}{\text{จำนวนไก่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

2. คุณภาพซาก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 4 ตัว (ผู้ 2 ตัว เมีย 2 ตัว) รวมทั้งหมด 144 ตัว เพื่อนำมาชำแหละ และตรวจวัดคุณภาพซาก โดยทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

2.1 บันทึกน้ำหนักมีชีวิต (live weight)
2.2 บันทึกน้ำหนักซากสดรวมเครื่องใน (dressed weight) หรือน้ำหนักหลังถอนขน
2.3 บันทึกน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (eviscerated without weight)
2.4 บันทึกน้ำหนักคอและหัว (head and neck weight)
2.5 บันทึกน้ำหนักเนื้อหน้าอก (breast weight)
2.6 บันทึกน้ำหนักน่อง (drumstick weight)
2.7 บันทึกน้ำหนักสะโพก (thigh weight)
2.8 บันทึกน้ำหนักปีก (wing weight)
2.9 บันทึกน้ำหนักแข้ง (shank weight)
2.10 บันทึกน้ำหนักไขมันช่องท้อง (abdominal fat weight)
2.11 บันทึกน้ำหนักโครงกระดูก (skeleton weight)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นำค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหา ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก} = \frac{\text{น้ำหนักซาก (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)}}$$

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์สะโพก} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อสะโพก (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์คอและหัว} = \frac{\text{น้ำหนักคอและหัว (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์น่อง} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อน่อง (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (กรัม)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปีก} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อปีก (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (กรัม)}}$$

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

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์โครงกระดูก} = \frac{\text{น้ำหนักโครงกระดูก (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน (กรัม)}}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การศึกษาจำนวนประชากรของเชื้อ *Clostridium perfringens* ในทางเดินอาหาร และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อ

การศึกษาใช้ไก่เนื้ออายุ 34 วัน โดยการสุ่มไก่เนื้อ ซ้ำละ 2 ตัว (เพศผู้ 1 ตัว และเพศเมีย 1 ตัว) ทำการเก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในไส้ติ่ง (caecal content) จากไก่แต่ละตัว โดยบรรจุในถุง anaerobic bag ซึ่งมี anaerobic gas pack บรรจุอยู่ เพื่อนำไปตรวจนับเชื้อ *Clostridium perfringens* ทุกขั้นตอนการเก็บตัวอย่างต้องทำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอากาศ ถุงตัวอย่างทั้งหมดจะถูกแช่ในน้ำแข็ง เพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการตรวจนับเชื้อ *Clostridium perfringens*

จากนั้นใช้ไก่เนื้อชุดเดียวกันกับที่ตรวจนับเชื้อ *Clostridium perfringens* เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อ โดยนำเนื้อเยื่อทางเดินอาหารส่วนไอเลียมเก็บตัวอย่างลำไส้บริเวณกึ่งกลางระหว่าง Meckel's diverticulum กับด้านบนจุดเชื่อมต่อระหว่างไอเลียมและไส้ติ่ง (ileo-ceacal junction) มาตัดขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ล้างใน phosphate-buffer saline 58 (PBS) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นรีบใส่ลงใน fixative ใช้ 10% NBF (neutral buffer formalin) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปฏิบัติตามขั้นตอนทาง histology technique โดยล้างในน้ำไหล และนำมา dehydrated ด้วยเอธานอล ตามลำดับความเข้มข้น และ embedded ใน paraffin ตัดเนื้อเยื่อด้วย microtome ความหนา 5 μm วางลงบนแผ่นสไลด์ที่เคลือบด้วย poly-l-lysine นำแผ่นสไลด์อบในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที นำแผ่นสไลด์มา deparaffin ด้วย xyline 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที และ dehydrate ด้วยเอธานอลตามลำดับความเข้มข้น จากนั้นนำแผ่นสไลด์เนื้อเยื่อมาย้อมด้วยสี haematoxylin และ eosin เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อของเยื่อบุผิวทางเดินอาหาร โดยวัด villus height (วัดจาก brush-border membrane ถึง basolateral membrane) และ crypt depth (วัดจากฐานของคริปท์ที่ basement membrane ถึงปาก) ตามวิธีของ Brunsgaard (1998) โดยสุ่มวัดจากวิลลัสและคริปท์ จำนวน 10 อัน จาก 3 ตำแหน่งในแต่ละสไลด์เนื้อเยื่อ ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย objective 20X

4. การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะต่างๆ ในอาหารทดลองทุกสูตร คือ วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดย proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) และวิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของอังคณา และ ดวงสมร (2532)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. คุณภาพวัสดุรองพื้น

การศึกษาคุณภาพวัสดุรองพื้น (แกลบ) ช่วงวันที่ 21 ของการทดลอง โดยการสุ่มเก็บแกลบทุกซ้ำ และแต่ละซ้ำจำนวน 2 จุดคือ บริเวณใกล้ถาดอาหารและใกล้จุดให้น้ำ เพื่อตรวจวัดคุณภาพแกลบ โดยวิธีการวัดจะพิจารณาให้คะแนนตามลักษณะคุณภาพแกลบซึ่งมี 4 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1: วัสดุรองพื้น (แกลบ) มีลักษณะแห้งมาก และสามารถมองเห็นเป็นอนุภาคของแกลบอยู่

ระดับ 2: วัสดุรองพื้น (แกลบ) มีลักษณะแห้ง และสามารถมองเห็นเป็นอนุภาคของแกลบอยู่

ระดับ 3: วัสดุรองพื้น (แกลบ) มีลักษณะเริ่มเปียกชื้น และสามารถมองเห็นเป็นอนุภาคของแกลบอยู่เล็กน้อย

ระดับ 4: วัสดุรองพื้น (แกลบ) มีลักษณะเปียกมาก ทำให้สังเกตเห็นลักษณะที่เป็นก้อน/แผ่นซึ่งเป็นเนื้อเดียวกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดตามแผนการทดลองแฟคทอเรียล แบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design, FCRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะต่างๆ ได้แก่ พลังงานรวม วัตถุแห้ง โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัสของอาหารทดลองแต่ละสูตรที่ใช้ในแต่ละช่วงอายุของไก่เนื้อ พบว่าปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัสในอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรมีค่าสอดคล้องกับปริมาณโภชนะที่ได้จากการคำนวณ (ตารางที่ 6)

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ PKM แตกต่างกัน จากการทดลองช่วงระยะไก่เล็ก (1-17 วัน) ที่แสดงในตารางที่ 7 ไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ แต่พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับที่สูงขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดต่ำลง (P = 0.0703) ส่วนการเสริมเอนไซม์ทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้น้ำหนักตัวของไก่เนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (P<0.05) นอกจากนี้พบว่าการเสริมเอนไซม์มีแนวโน้มที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ให้ดีขึ้น (P = 0.0985) การเสริมเอนไซม์ XAP ช่วยปรับปรุงน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ทั้ง 2 ระดับให้ดีขึ้น ส่วนทางด้านการเสริมเอนไซม์ mannanase นั้นพบว่าช่วยปรับปรุงน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉพาะในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ระดับต่ำเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Eustace and Bina (2005) ที่ได้ทำการทดลองเลี้ยงไก่เนื้อ โดยใช้เอนไซม์รวมที่ประกอบด้วย protease และ xylanase เสริมในสูตรอาหารที่มี PKM เปรียบเทียบกับอาหารควบคุม พบว่าไก่เล็กที่ได้รับอาหารที่เสริมเอนไซม์ในสูตรที่มี PKM มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อาจเนื่องมาจากในระยะไก่เล็กยังมีการพัฒนาระบบทางเดินอาหารที่ยังไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหารเกิดขึ้นต่ำ ดังนั้นเมื่อมีการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยลดปัญหาการใช้ PKM ในระดับสูง สามารถเห็นผลการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมเอนไซม์รวม XAP เนื่องจากมีเอนไซม์ xylanase ช่วยในการย่อยผนังเซลล์พืช ส่งผลให้สารอาหารภายในเซลล์ถูกการปลดปล่อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกมาได้ และยังมีเอนไซม์ amylase และ protease ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารประเภทแป้งและโปรตีน ในส่วนของการเสริมเอนไซม์ mannanase จะช่วยย่อยพันธะของ mannan ซึ่งพบว่ามีอยู่มากใน PKM ซึ่งช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในลำไส้ ส่งผลให้การเข้าทำปฏิกิริยาของน้ำย่อยและเอนไซม์มีประสิทธิภาพดีมากขึ้น ช่วยเพิ่มการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้เพิ่มมากขึ้น และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวไก่ สำหรับการเสริมเอนไซม์ส่วนใหญ่จะตอบสนองชัดเจนในไก่ที่อยู่ในช่วงอายุ 4 สัปดาห์แรก เพราะไก่ระยะเล็กมักจะมีปัญหามากในการย่อยและดูดซึมสารอาหารที่มีธัญพืชสูง สำหรับความข้นหนืดในระบบทางเดินอาหารสามารถลดลงได้โดยการเสริมเอนไซม์ ซึ่งพบว่าเอนไซม์ช่วยปรับปรุงการย่อยได้ในไก่ระยะเล็ก (Vranjes *et al.*, 1994)

ผลการทดลองในช่วงระยะไก่รุ่น (18-35 วัน) และตลอดช่วงการทดลอง (1-35 วัน) แสดงในตารางที่ 8-9 ซึ่งไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ แต่พบว่ากลุ่มที่ใช้ PKM ที่ระดับสูงในสูตรอาหาร ส่งผลให้การกินได้มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ PKM ในระดับต่ำ (ช่วงระยะไก่รุ่น $P = 0.0682$ และตลอดช่วงการทดลอง $P = 0.0918$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก PKM ที่ใช้ในสูตรอาหารมีปริมาณเยื่อใยที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองครั้งนี้อาหารในช่วงระยะไก่เล็กที่มี PKM ในระดับต่ำและระดับสูงมีปริมาณเยื่อใยเท่ากับ 4.30 และ 4.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอาหารในช่วงระยะไก่รุ่นที่มี PKM ในระดับต่ำและระดับสูงมีปริมาณเยื่อใยเท่ากับ 4.69 และ 5.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอาหารที่มี PKM ในระดับสูงจะมีเยื่อใยในปริมาณที่สูงขึ้นทั้งสองระยะ และการศึกษาของ Sundu *et al.* (2005b) พบว่าความหนาแน่น (bulk density) ของข้าวโพด และ PKM เท่ากับ 0.641 และ 0.57 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งการใช้ PKM ที่สูงจะจะส่งผลให้การใช้ข้าวโพดลดลง ทำให้สูตรอาหารที่ใช้ PKM ในระดับสูงมีความหนาแน่นต่ำ (ฟ่าม) กว่าสูตรอาหารที่ใช้ PKM ในระดับต่ำ ทั้งสองสาเหตุจึงทำให้ไก่เนื้อกินอาหารในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้รับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้เพียงพอกับความต้องการ อีกทั้งเยื่อใยใน PKM ยังมีลักษณะเป็นเส้นใยแข็ง ซึ่งอาจจะทำให้การหดตัวของ gizzard เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การไหลผ่านของสิ่งย่อยในลำไส้เล็กเร็วขึ้น ทำให้การกินได้เพิ่มขึ้นด้วย (Sundu *et al.*, 2005a) นอกจากนี้จากการทดลองพบว่าการใช้ PKM ระดับสูงในสูตรอาหารส่งผลให้การเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าการใช้ PKM ระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) สอดคล้องกับ Osei และ Amo (1987) ที่รายงานว่าการใช้ PKM ระดับที่สูงขึ้น (ตั้งแต่ 0-15 เปอร์เซ็นต์) ในสูตรอาหารไก่เนื้อส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นลดลง และประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง อาจเนื่องมาจากการใช้ PKM ระดับสูงในสูตรอาหารจะส่งผลให้มีปริมาณเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง (สุธา และ คณะ, 2534)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมเอนไซม์ทั้ง 2 รูปแบบไม่ส่งผลช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตทั้งในช่วงระยะไก่รุ่น (18-35 วัน) และตลอดช่วงการทดลอง (1-35 วัน) (P>0.05) ในการทดลองนี้การเสริมเอนไซม์จะช่วยปรับปรุงในส่วนของสมรรถภาพการผลิตในระยะไก่เล็กมากกว่าระยะไก่รุ่น อาจเกิดจากไก่ที่โตขึ้นจะมีการพัฒนาระบบต่างๆ อย่างสมบูรณ์แล้ว โดยเฉพาะระบบทางเดินอาหารจะมีการย่อยและการดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีการใช้ประโยชน์จากอาหารที่มี PKM ได้ดีกว่า และอาจเนื่องมาจากมีการสร้างเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใยจากจุลชีพประจำถิ่น ซึ่งได้รับการกระตุ้นมาจากการได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูงในระยะไก่รุ่น (Chiang *et al*., 2005) จึงทำให้การเสริมเอนไซม์ที่มีวัตถุประสงค์ดังกล่าวอาจจะช่วยปรับปรุงสมรรถกาผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ได้ แต่ไม่เห็นผลชัดเจนในไก่ระยะรุ่น

คุณภาพซากของไก่เนื้อ

ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ PKM แตกต่างกันที่อายุ 35 วัน แสดงในตารางที่ 10 จากผลการทดลองพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอก น่อง และโครงกระดูกของไก่เนื้อ สำหรับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มี PKM ระดับสูงส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกและน่องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มี PKM ระดับสูงและไม่ได้เสริมเอนไซม์มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้ออกต่ำที่สุดและเปอร์เซ็นต์โครงกระดูกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ (P<0.05) ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการคำนวณสูตรอาหารโดยมีค่าโปรตีน พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ กรดอะมิโน (เมธไธโอนีนและไลซีน) และแร่ธาตุหลัก ให้มีค่าเท่ากันทุกสูตรในระยะเดียวกัน แต่จะมีค่าปริมาณเยื่อใยที่ไม่เท่ากัน โดยอาหารที่มี PKM ในระดับสูงนั้นจะมีเยื่อใยพวกที่ละลายน้ำได้อยู่สูงด้วย ซึ่งจะไปขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารพวกโปรตีน จึงอาจส่งผลต่อการสร้างกล้ามเนื้อในส่วนต่างๆ โดยเฉพาะส่วนเนื้ออกซึ่งเป็นส่วนที่มีโปรตีนสะสมมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Mushtaq *et al.* (2007) ที่ทดลองเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่เนื้อที่มีกากเมล็ดคาโนลา (CM) ที่ระดับ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร พบว่าไก่ที่ได้รับอาหาร CM 30 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหาร CM 20 เปอร์เซ็นต์ (P < 0.01) นอกจากนี้พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (glucanase และ **xy**lanase) ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีกากเมล็ดคาโนลาทั้งสองระดับ (P > 0.05) นอกจากนั้นการศึกษาครั้งนี้มีการคำนวณเพียงกรดอะมิโนรวม ซึ่งการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนของวัตถุดิบแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกัน โดยเฉพาะในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีกรดอะมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ส่งผลให้อาหารที่มีการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มในปริมานที่สูงมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดอะมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำลง อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้การเสริมเอนไซม์ XAP ยังมีผลช่วยปรับปรุงเปอร์เซ็นต์เนื้ออกของไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มี PKM ระดับสูง ($P<0.01$) ในขณะที่การเสริมเอนไซม์ M ในอาหารไก่เนื้อที่มี PKM ระดับต่ำมีผลช่วยปรับปรุงเปอร์เซ็นต์น่องไก่ ($P<0.01$) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sherif (2009) โดยการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารสูตรพื้นฐานที่เสริมเอนไซม์รวม (cellulase, xylanase, glucanase, amylase, protease, pectinase, phytase, lipase) พบว่ากลุ่มที่เสริมเอนไซม์มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจากในการศึกษาครั้งนี้วัดคุณภาพซากในไก่ที่อายุ 35 วัน ซึ่งไก่ระยะรุ่นอาจมีการพัฒนาระบบทางเดินอาหารที่สมบูรณ์ ทั้งด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในทางเดินอาหาร การสร้างเอนไซม์ในการย่อยอาหารที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้การเสริมเอนไซม์ในอาหารที่มี PKM เห็นผลไม่ชัดเจนต่อคุณภาพซาก

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ไก่เนื้อ

ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ PKM แตกต่างกันที่อายุ 34 วัน แสดงในตารางที่ 11 จากผลการทดลองไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อความสูงและความกว้างของวิลลัส (villus height and villus width) พื้นที่ผิวของวิลลัส (villus surface area) และความลึกของคริปท์ (crypt depth) ของ ileum ในไก่เนื้อที่อายุ 34 วัน

การให้อาหารไก่เนื้อที่ประกอบไปด้วย NSP ในปริมาณสูงจะส่งผลกระทบต่อความสูง ความกว้าง และรูปร่างของวิลลัส ซึ่งจะมีผลไปลดความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของลำไส้ (Mathlouthi *et al*., 2002) อย่างไรก็ตาม ในงานทดลองครั้งนี้ไม่พบว่าการเลี้ยงไก่เนื้อด้วยอาหารที่มี PKM ทั้งที่เสริมและไม่เสริมเอนไซม์มีผลต่อของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Baurhoo *et al.* (2011) ที่รายงานว่าการให้อาหารที่มีข้าวฟ่างแทนข้าวโพดในระดับต่างๆ ในไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 508 และตรวจวัดความสูง และความกว้างของวิลลัส (villus height and villus width) พื้นที่ผิวของวิลลัส (villus surface area) ของ jejunum ในไก่เนื้อที่อายุ 28 และ 42 วัน พบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีข้าวฟ่างระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ไก่เนื้อเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่วัดลักษณะทางสัณฐานวิทยานั้นทำในช่วงไก่ระยะรุ่น ซึ่งระบบทางเดินอาหารมีการพัฒนาที่สมบูรณ์แล้วจึงไม่พบผลกระทบที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามจากการสังเกตในช่วงระยะไก่เล็ก พบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับสูงจะมีอาการมูลติดก้นมากกว่ากลุ่มอื่นๆ และพบว่าอาการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังกล่าวลดลงอย่างชัดเจนเมื่อไก่มีอายุเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นได้ว่าไก่มีการปรับตัวในการย่อยอาหารได้ดีเมื่อมีอายุมากขึ้น จึงไม่พบผลกระทบต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ไก่ระยะรุ่น

จำนวนประชากร *Clostridiun perfringens* ในไส้ติ่ง

ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อประชากร *Clostridiun perfringens* ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ PKM แตกต่างกันที่อายุ 34 วัน แสดงในตารางที่ 12 จากผลการทดลองไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ต่อจำนวนประชากร *Clostridiun perfringens* จากสิ่งย่อยในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่อายุ 34 วัน

ในการศึกษาหาประชากร *Clostridium perfringens* เนื่องมาจากเชื้อ *Clostridium perfringens* เป็นแบคทีเรีย เจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobe) มักจะก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหารทั้งในคนและสัตว์ สูตรอาหารที่ใช้มี NSP ที่ละลายน้ำได้อยู่ นอกจากจะส่งผลขัดขวางการย่อยและการดูดซึมสารอาหารของไก่เนื้อ (Choct and Annison, 1990) และสุกร (van Barneveld and Hughes, 1994) ยังพบว่าส่งผลต่อระบบนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารอีกด้วย (Angkanaporn *et al.,* 1994) เนื่องมาจาก NSP ที่ละลายน้ำได้ก่อให้เกิดความข้นหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร และส่งผลให้ออกซิเจนในลำไส้ให้มีปริมาณต่ำ ซึ่งเอื้ออำนวยให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนดำรงชีวิตอยู่ได้ (Wagner and Thomas, 1978) และอีกปัจจัยหนึ่งอาจเป็นเพราะความข้นหนืดของสิ่งย่อยที่เพิ่มมากขึ้นในทางเดินอาหาร ส่งผลให้เอนไซม์ทำการย่อยสารอาหารได้น้อยลง สารอาหารที่ไม่ถูกย่อยจึงหลงเหลือและเคลื่อนที่ไปสู่ลำไส้ส่วนปลาย และเป็นอาหารให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองไม่พบว่าระดับการใช้ PKM ในอาหารและการเสริมเอนไซม์มีผลต่อประชากร *Clostridiun perfringens* จากสิ่งย่อยในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่อายุ 34 วัน อาจเนื่องมาจากในช่วงที่วัดจำนวนประชากร *Clostridiun perfringens* ในไส้ติ่ง เป็นไก่ระยะรุ่นอาจจะมีการปรับตัวกับอาหารได้ดีกว่าไก่ระยะเล็ก และอีกปัจจัยหนึ่งอาจจะมีผลมาจากปริมาณ PKM ที่ใช้ในการทดลองไม่อยู่ในระดับที่มีผลต่อการเกิดภาวะข้นหนืดที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridiun perfringens* และก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณภาพวัสดุรองพื้น

ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับ PKM ที่อายุ 21 วัน ต่อคุณภาพวัสดุรองพื้น (แกลบ) แสดงในตารางที่ 13 จากผลการทดลองไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างระดับ PKM และการเสริมเอนไซม์ ต่อคุณภาพของวัสดุรองพื้น (แกลบ)

จากผลการทดลองไม่พบว่าระดับการใช้ PKM ในอาหารและการเสริมเอนไซม์มีผลต่อคุณภาพของวัสดุรองพื้น(แกลบ) ที่ไก่อายุ 21 วัน อาจเนื่องมาจากในช่วงที่วัดคุณภาพของวัสดุรองพื้นนั้นเป็นไก่ระยะรุ่น ซึ่งอาจจะมีการปรับตัวกับการใช้อาหารที่มี PKM ได้ ทำให้มูลที่ขับออกมามีลักษณะไม่ชื้นเหนียว สังเกตได้จากในช่วงระยะไก่เล็กจะมีมูลติดก้นจำนวนมากและลดลงเมื่อไก่โตขึ้น ประกอบกับพื้นที่ในการไก่ที่เลี้ยงในการทดลองครั้งนี้มีการเลี้ยงอย่างไม่หนาแน่น ซึ่งอาจเห็นผลต่อคุณภาพแกลบได้ไม่มากนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

	กลุ่มทดลอง[*] \ องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	วัตถุแห้ง	ไขมันรวม	เถ้า	แคลเซียม	เยื่อใยรวม	ฟอสฟอรัส	โปรตีนรวม	พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
ระยะไก่เล็ก	Control A	89.34	7.89	5.63	1.04	3.31	0.67	21.35	4640.83
	Control A + XAP	89.54	8.19	5.72	1.04	3.35	0.65	21.01	4716.06
	Control A + M	89.9	7.65	5.75	1.11	3.40	0.69	21.06	4671.41
	Control B	89.68	8.39	5.93	1.06	3.59	0.71	21.25	4633.68
	Control B + XAP	89.92	7.82	5.80	1.90	3.79	0.69	21.09	4708.53
	Control B + M	89.80	8.24	5.62	1.08	3.83	0.68	21.12	4628.22
ระยะไก่รุ่น	Control A	90.27	9.65	5.62	1.05	3.61	0.68	19.56	4712.07
	Control A + XAP	90.12	10.70	5.66	1.05	3.83	0.64	19.46	4760.29
	Control A + M	90.04	9.51	5.54	1.09	3.68	0.69	19.15	4758.93
	Control B	90.84	10.23	5.73	1.10	4.04	0.70	19.15	4779.17
	Control B + XAP	90.36	9.57	5.85	0.95	3.89	0.70	19.06	4769.24
	Control B + M	90.86	10.65	5.69	1.10	4.10	0.70	19.29	4808.10
ระยะไก่รุ่น (หยุดยากันบิด)	Control A	89.57	9.16	5.7	1.09	3.70	0.62	19.11	4770.60
	Control A + XAP	91.14	10.77	5.88	1.03	3.54	0.65	19.29	4778.92
	Control A + M	90.38	9.21	5.49	0.99	3.43	0.62	19.14	4752.63
	Control B	90.87	10.65	5.7	1.11	3.88	0.69	19.49	4803.02
	Control B + XAP	90.74	9.30	5.84	1.13	4.02	0.66	19.79	4794.70
	Control B + M	90.32	10.41	5.65	1.00	4.24	0.63	19.87	4763.87

[*]Control A อาหารพื้นฐานเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับต่ำ 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารระยะไก่เล็ก และระยะไก่รุ่น
Control B อาหารพื้นฐานเสริมกากเนื้อในเมล็ดปาล์มระดับสูง 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารระยะไก่เล็ก และระยะไก่รุ่น
XAP เสริมเอนไซม์รวม (Xylanase, Amylase, Protease), M เสริมเอนไซม์ Mannanase

ตารางที่ 7 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกันที่อายุ 1-17 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
Control A	476.3	645.0	1.35	0.0
Control A + XAP	487.2	652.8	1.34	0.3
Control A + M	490.3	650.7	1.33	0.3
Control B	467.5	637.8	1.37	0.0
Control B + XAP	487.0	653.5	1.34	0.0
Control B + M	479.2	650.5	1.36	0.3
Main effect				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม				
Low	484.6	649.5	1.34	0.2
High	479.2	648.4	1.35	0.1
การเสริมเอนไซม์				
ไม่เสริม	472.8[b]	642.1	1.36	0.0
เสริมเอนไซม์รวม (XAP)	487.1[a]	653.2	1.34	0.2
เสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)	484.8[a]	650.6	1.34	0.3
P-value				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (A)	0.2215	0.8129	0.0703	0.6395
การเสริมเอนไซม์ (B)	0.0317	0.1375	0.0985	0.4377
AxB	0.3878	0.7063	0.1364	0.7046
Pooled SE	12.62	12.94	0.02	0.14

หมายเหตุ [a, b] อักษรที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 8 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกันที่อายุ 18-35 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
Control A	1506.7	2739.8	1.82	0.8
Control A + XAP	1500.0	2711.8	1.81	2.3
Control A + M	1519.8	2766.6	1.82	0.8
Control B	1495.3	2820.1	1.89	0.6
Control B + XAP	1477.9	2775.2	1.88	0.4
Control B + M	1475.1	2776.2	1.88	0.8
Main effect				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม				
Low	1508.9[a]	2739.4	1.81[b]	1.3
High	1482.7[b]	2790.5	1.88[a]	0.5
การเสริมเอนไซม์				
ไม่เสริม	1501.0	2779.9	1.85	0.6
เสริมเอนไซม์รวม (XAP)	1489.0	2743.5	1.84	1.4
เสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)	1497.4	2771.4	1.85	0.8
P-value				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (A)	0.0103	0.0682	0.0014	0.1205
การเสริมเอนไซม์ (B)	0.5714	0.4717	0.9117	0.5073
AxB	0.357	0.4931	0.9856	0.281
Pooled SE	26.88	71.68	0.05	0.27

หมายเหตุ [a, b] อักษรที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 9 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกันที่อายุ 1-35 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์)
Control A	1990.3	3386.5	1.70	0.7
Control A + XAP	1990.6	3364.4	1.69	2.3
Control A + M	2012.7	3417.1	1.70	1.0
Control B	1974.7	3458.0	1.75	0.5
Control B + XAP	1967.4	3428.5	1.74	0.3
Control B + M	1959.9	3426.6	1.75	1.0
Main effect				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม				
Low	1997.8[a]	3389.4	1.70[b]	1.3
High	1967.3[b]	3437.7	1.75[a]	0.6
การเสริมเอนไซม์				
ไม่เสริม	1989.2	3422.3	1.73	0.6
เสริมเอนไซม์รวม (XAP)	1971.1	3396.5	1.72	1.3
เสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)	1984.2	3421.9	1.72	1.0
P-value				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (A)	0.0093	0.0918	0.0012	0.1539
การเสริมเอนไซม์ (B)	0.8479	0.6713	0.8437	0.6658
AxB	0.3413	0.6000	0.9978	0.3027
Pooled SE	30.85	78.54	0.04	0.27

หมายเหตุ [a, b] อักษรที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 10 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มแตกต่างกัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักซากสด(%)[ก, 1/]	น้ำหนักซากเย็น(%)[1/]	หัวและคอ(%)[2/]	ปีก (%)[2/]	เนื้ออก (%)[2/]	สะโพก (%)[2/]	น่อง (%)[2/]	แข้ง (%)[2/]	ไขมันช่องท้อง (%)[2/]	โครงกระดูก (%)[2/]
Control A	83.02	80.80	7.82	8.86	28.49 [a]	16.18	12.40 [ab]	4.13	1.10	20.49 [c]
Control A + XAP	82.86	80.54	8.02	9.03	27.87 [ab]	15.87	12.34 [ab]	4.12	1.26	20.96 [abc]
Control A + M	82.20	80.68	7.87	9.06	27.88 [ab]	15.46	12.47 [a]	4.14	1.23	21.26 [ab]
Control B	83.05	81.19	8.11	9.12	27.15 [b]	15.95	12.28 [ab]	4.17	1.29	21.52 [a]
Control B + XAP	82.73	80.78	7.84	9.11	28.68 [a]	16.02	12.16 [ab]	4.09	1.18	20.61 [bc]
Control B + M	83.63	81.07	7.95	9.07	27.76 [ab]	16.47	12.13 [b]	4.06	1.22	20.71 [bc]
Main effect										
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม										
Low	82.65	80.75	7.84	9.01	28.35	15.89	12.34	4.12	1.17	20.79
High	83.18	80.93	8.03	9.07	27.59	16.10	12.25	4.12	1.26	21.06
การเสริมเอนไซม์										
ไม่เสริม	82.94	80.67	7.92	8.94	28.18	16.03	12.37	4.12	1.18	20.72
เสริมเอนไซม์รวม (XAP)	82.62	80.93	7.99	9.09	27.52	15.71	12.37	4.15	1.26	21.39
เสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)	83.18	80.92	7.90	9.09	28.22	16.25	12.14	4.07	1.19	20.66
P-value										
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (A)	0.2318	0.4083	0.5060	0.0711	0.3556	0.0310	0.0306	0.6651	0.5931	0.8218
การเสริมเอนไซม์ (B)	0.8751	0.8072	0.8972	0.4933	0.2120	0.7297	0.7388	0.6907	0.9384	0.6617
AxB	0.1807	0.9833	0.1768	0.2374	0.0036	0.6286	0.0031	0.6491	0.4908	0.0103
Pooled SE	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01

หมายเหตุ [ก] น้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน, [1/] คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักมีชีวิต, [2/] คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักซากสดปราศจากเครื่องใน

[a, b] อักษรที่ต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 11 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกัน

กลุ่มทดลอง	Villi Height (µm)	Crypt Depth (µm)	Villi Width (µm)	Villi Surface (μm^2)
Control A	445.08	124.98	136.13	6232.64
Control A + XAP	484.21	116.79	136.60	6846.02
Control A + M	489.17	118.42	142.18	7113.98
Control B	481.40	109.63	144.46	7109.52
Control B + XAP	461.38	140.00	134.03	6332.21
Control B + M	475.53	122.55	140.40	6900.14
Main effect				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม				
Low	474.45	119.77	138.43	6760.20
High	472.77	124.06	139.63	6780.60
การเสริมเอนไซม์				
ไม่เสริม	464.89	116.60	140.67	6710.90
เสริมเอนไซม์รวม (XAP)	472.79	128.40	135.32	6589.10
เสริมเอนไซม์แมนนาเนส (M)	482.35	120.48	141.29	7007.10
P-value				
ระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (A)	0.9862	0.6445	0.6686	0.9268
การเสริมเอนไซม์ (B)	0.6684	0.3276	0.3057	0.5252
AxB	0.2110	0.0589	0.4220	0.2018
Pooled SE	0.04	0.06	0.03	0.06

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกัน

กลุ่มทดลอง	*Clostridium prevalence*
Control A	ND
Control A + XAP	ND
Control A + M	ND
Control B	ND
Control B + XAP	ND
Control B + M	ND

หมายเหตุ ND คือ non detectable

ตารางที่ 13 ผลของการใช้เอนไซม์สองรูปแบบ ต่อคุณภาพของวัสดุรองพื้นของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีระดับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่แตกต่างกัน

กลุ่มทดลอง	ระดับคะแนนของคุณภาพแกลบ	
	บริเวณใกล้ถังอาหาร	บริเวณไกลถังอาหาร
Control A	2.16	1.83
Control A + XAP	2.66	2.00
Control A + M	2.66	2.00
Control B	2.33	2.00
Control B + XAP	2.83	1.83
Control B + M	2.33	1.83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองในครั้งนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ระดับ PKM ในอาหารไก่เนื้อและการเสริมเอนไซม์ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมรรถภาพการผลิตโดยรวมของไก่เนื้อ

2. การให้อาหารที่มี PKM ที่ระดับ 7.5% ในช่วงไก่เล็กและ 15% ในช่วงไก่รุ่นส่งผลกระทบให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อลดต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีPKM ที่ระดับ 5% ในช่วงไก่เล็กและ 10% ในช่วงไก่รุ่น

3. การเสริมเอนไซม์ XAP และ M พบว่าสามารถช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อระยะเล็กที่ได้รับอาหารที่มี PKM ในระดับที่ไม่เกิน 15% ได้

4. การให้อาหารที่มี PKM ระดับสูงในไก่เนื้อทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกและน่องลดลง ขณะที่การเสริมเอนไซม์ XAP สามารถปรับปรุงเปอร์เซ็นต์เนื้อหน้าอกของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มี PKM ระดับสูง

5. ระดับ PKM ในอาหารไก่เนื้อและการเสริมเอนไซม์ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อจำนวนประชากร *Clostridium perfringens* และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่เนื้อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2544. **วัตถุดิบอาหารสัตว์.** แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/inform/ kpalmoil.html., 31 สิงหาคม 2555

กฤษฎา สมบุญ และ ปวรัฐ สายสุทธิ์. 2553. **ผลการเสริมเอนไซม์เพื่อปรับปรุงการย่อยได้ในไก่เนื้อ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กุศล คำเพราะ. 2539. เอนไซม์ในอาหารสัตว์ปีก. **สัตว์เศรษฐกิจ** 13(293): 43-46

เกศรา อำพาภรณ์, เฉลิมพล เยื้องกลาง, ไกรสิทธิ วสุเพ็ญ, เสมอใจ บุรีนอก และ ทันสมัย วรพิมพ์. 2555. ผลของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยต่อประสิทธิภาพการผลิตและการย่อยได้ของไก่เนื้อ. **แก่นเกษตร** 40 ฉบับพิเศษ 2 : 236-238

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **เนื้อที่และผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทย.** แหล่งที่มา: www.nic.go.th/gsic/uploadfile/palm-oil.pdf., 19 กรกฎาคม 2556

จรัญ ประจันบาล. 2551. **การหาค่าที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเอนไซม์เบต้า-กลูคาเนสจากเชื้อรา *Aspergillus terreus* ASKU 10 ด้วยการหมักแบบแห้งและการใช้ฟางข้าวหมักร่วมกับเชื้อส่งเสริมการเติบโตเพื่อการเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุวรรณ มณีศรี. 2538. **การผลิตและการประยุกต์ใช้ไซลาเนสและเซลลูเลสจากกากปาล์มและกากสลัดจ์โดยเชื้อ *Aspergillus niger* AT CC 6275.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จิรนาถ บุญคง. 2543. **การผลิตและศึกษาคุณสมบัติของเอนไซม์แมนนาเนสจาก alkaliphilic *Bacillus firmus* K-1.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2548. **การใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นอาหารโค-กระบือ.** น. 389-398. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2548. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชลธิดา บรรเทากุล. 2557. **เอนไซม์ในอาหารสัตว์.** แหล่งที่มา: http://www.egg-thailand.com., 24 พฤษภาคม 2557

ทวีศักดิ์ นิยมบัณฑิต. 2543. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มเสริมด้วยกรดอะมิโนและกากน้ำตาลแทนปลายข้าวในอาหารสุกรรุ่น-ขุน. **ว. สงขลานครินทร์** วทท. 22(3): 301-309.

ธีระพงษ์ สุขสว่าง. 2550. **การหมักกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอนไซม์อะไมเลสในถังหมักแบบเพคเบด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นาฏฤดี มีศิลป์. 2543. **การผลิตและการศึกษาสมบัติบางประการของเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อ *Metarhizium anisopliae* DOA FC 2156.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิวัติ เมืองแก้ว. 2530. **ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันต่ำสมรรถภาพในการผลิตลูกไก่-ไก่สาว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2531. **ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆในอาหารและการจำกัดอาหารหลังจากไก่ให้ไข่สูงสุดต่อการให้ผลผลิตในไก่ไข่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2543. **เอนไซม์ทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____. 2547. **เอนไซม์ทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 4, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ประพจน์ มลิวัลย์. 2543. **คุณค่าทางโภชนาการของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันและการใช้อาหารไก่กระทง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปาณิสรา เหมินทร์. 2551. **การโคลนและการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์แมนนาเนสจาก *Bacillus amyloliquefaciens* NT 6.3 และ *Bacillus circulans* NT 6.7.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิ่น จันจุฬา, เสาวนิต คูประเสริฐ, วันวิศาข์ งามผ่องใส, อภิชาต หล่อเพชร และอารีย์วรรณ มีแสง. 2551. **การใช้ประโยชน์ของกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในสูตรอาหารแพะ.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิเชษฐ์ สุธรรมบุตร. 2543. **การศึกษาการใช้กากเมล็ดในปาล์มทดแทนรำข้าวในอาหารสุกร: การปรับปรุงการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารโดยการเติมไขมันและเอนไซม์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. **น้ำมันปาล์ม.** แหล่งที่มา: http://www.food networksolution.com/wiki/word/1300/palm-oil, 19 กรกฎาคม 2556.

ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน. 2553. **บทบาทของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์.** แหล่งที่มา: http://www2.it.mju.ac.th/dbresearch/raen/index.php/newspeaper2010/140-2553-12-22-04-m-s, 13 ธันวาคม 2555.

ยุทธนา ศิริวัฒนนุกุล. 2530. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มในอาหารต่อการเจริญเติบโตและลักษณคุณภาพซากของสุกร. **ว. สงขลานครินทร์** 9: 437-443.

วรรณพร ทะพิงค์แก และพันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2543. การใช้ NSP-enzymes ในอาหารลูกสุกร. **ธุรกิจอาหารสัตว์.** 17 (70): 36-42.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วินัย ประลทพ์กาญจน์, เสาวนิต คูประเสริฐ, สุรพล ชลดำรงกุล และสมเกียรติ ทองรักษ์. 2528. ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ในอาหารสุกร. **ว. สงขลานครินทร์.** 7(2): 137-144.

วีรชัย เพชรสุทธิ์, ณัชพัฒน์ สุกใส, นาตาลี อาร์ ใจเย็น และชัยวิชิต เพชรศิลา. 2553. **การเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันในการผลิตอาหารปลาดุกลูกผสม.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ชุมพร.

สุธา วัฒนสิทธิ์ และ เสาวนิต คูประเสริฐ. 2544. การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารสัตว์. **ว. สงขลานครินทร์** 23(ฉบับพิเศษ): 741-752.

_____, วินัย ประลมพ์กาญจน์ และ ศยาม ขุนชำนาญ. 2534. อิทธิพลของไขมันในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันสูงต่อการผลิตไก่กระทง. **ว. สงขลานครินทร์.** 13(3-4): 195-201.

สหชัย ชัยชูลี. 2538. **ผลของการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันระดับต่างๆ ในอาหารเป็ด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสาวนิต คูประเสริฐ, จารุรัตน์ ชินาจริยวงศ์, สุธา วัฒนสิทธิ์ และ วรวิทย์ วณิชาภิชาติ. 2541. การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ 1. ไก่ไข่ในระยะเจริญเติบโต. **ว. สงขลานครินทร์** 20 (3): 303-311.

_____, _____,_____และ _____. 2544. การใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันทดแทนข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ 2. ระยะให้ไข่. **ว.สงขลานครินทร์.** วทท. 23(3): 343-350.

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

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สินเจิมศิริ. 2532. **การวิเคราะห์และการประเมินคุณภาพอาหารสัตว์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. 2548. **คู่มือปาล์มน้ำมัน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. เพ็ท-แพล์น พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ

Acamovic, T. and B. V. Mccleary. 1996. Optimising the response. **Feed Mix.** 4(4): 14-19.

Ahmad, M.B. 1986. Palm kernel cake as a new feed for cattle. **Asian Livestock.**11 (5): 49.

_____. 1988. The use of palm kernel cake as animal feed (part 1). **Asian Livestock.** 13: 13-19.

Angkanaporn, K., M. Choct, W. L. Bryden, E. F. Annison and G. Annison. 1994. Effects of wheat pentosans on endogenous amino acid losses in chickens. **J. Sci. Food Agric.** 66:399-404.

Annison, G. 1995. Feed enzyme-the science, future developments and practical aspects. *In* **Proc. 10th European Symposium Poultry Nutrition**, 15-19 October, Antalya, Turkey.

A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis.** 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia. 1422 p.

Armas, A. B. and Chicco,C. F. 1997. **Use of palm kernel meal of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) in broiler chickens diets.** Ph.D Dissertation. University of Malaya.

Baurhoo, N., B. Baurhoo, A. F. Mustafa and X. Zhao. 2011. Comparison of corn-based and Canadian pearl millet-based diets on performance, digestibility, villus morphology, and digestive microbial populations in broiler chickens. **Poult. Sci.** 90 :579–586.

Bedford, M.R. 1993. Mode of action of feed enzymes. **J. Appl. Poult. Res.** 2: 85-92.

_____ and G. G. Partridge. 2001. **Enzymes in Farm Animal Nutrition**. CABI Publishing, London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bedford, M.R and G. G. Partridge. 2010. **Enzymes in farm animal nutrition**, 2nd eds. MPG Books Group, Bodmin, UK.

Brunsgaard, G. 1998. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **J. Anim. Sci.** 76: 2787-2798.

Chiang, Chia-Chun. Bi Yu and Peter Wen-Shyg Chiou. 2005. Effects of Xylanase Supplementation to Wheat-based Diet on the Performance and Nutrient Availability of Broiler Chickens. **Asian-Aust. J. Anim. Sci**. 2005. Vol 18, No. 8: 1141-1146.

Choct, M.. 1997. Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. **Feed Milling International**, June Issue pp.13-26.

_____ and A. Kocker. 2002. **Non-starch Carbohydrates: Digestion and Secondary Effects in Monogastrics.** Available Source: http://wwwpersonal.une.edu.au/~mchoct /Nutsoc% 20paper.pdf, November 14, 2012.

_____, Hughes, RJ & Bedford, MR. 1999. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat. **Br. Poult. Sci.** vol. 40, pp. 419–422.

_____ and G. Annison. 1990. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. **Br. Poult. Sci.** 31:811-821.

Claus, L. 1984. Dietary fibers in human nutrition: an overview, pp. 468-471. *In* V. Tanphaichit, ed. **Human Nutrition Better Life**. Aksornmai Press, Thailand.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dusterhoft , E. M., M. A. Posthumus and A. G. J. Voragen. 1992. Non-starch polysaccharides from sunflower (*Helianthus annuus*) meal and palm kernel (*Elaeis guineensis*) meal investigation of the structure of major polysaccharide. **J. Sci. Agri.** 59: 151-160.

Esuga, P.M. 2007. **Effects of feeding graded levels of palm kernel meal (PKM) in broiler chicken diets supplemented with maxigrain® enzyme.** Ahmadu Bello University

Ethier, N., G. Talbot and J. Sygusch. 1998. Gene cloning, DNA sequencing and expression of Thermostable β-mannanase from Bacillus sterothermophilus. **Appl. Environ. Microbiol.** 64: 4428-4432.

Eustace, A. Iyayi and I. D. Bina. 2005. Effect of enzyme supplementation of palm kernel meal and brewer's dried grain on the performance of broilers. **Poult. Sci.** 4 (2): 76-80

Fetuga, B. L., M. Babatude and V. A. Oyenuga. 1977. The value of palm kernel meal in finishing diets for pigs. 2. The effects of the addition of cane molasses on the utilization of high level palm kernel meal diets. **J. of Agric. Sci. Camb.** 88: 663-669

Hutagalung, R.I. 1980. **Availability of feedstuffs for farm animals.** Proceedings First Asia-Australia Animal Science Congress, Abstract No 40:15.

Jenkins, D.J. A. 1988. Carbohydrate, pp. 52-71. *In* M.E. Shils and V.R. Young, eds. **Modern Nutrition in Helth and Disease**. Lea & Fabizer, Philaddelphia.

Kyriazakis, I. and Emmans, G.C. 1995. The voluntary feed intake of pigs given feed based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation ton measurements of feed bulk. **British Journal of Nutrition** 73: 191-207.

Knudsen, K.E.B., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Anim. **Feed Sci. Technol**., 67: 319-338.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Longe, O. G. 1984. Effects of increasing the fiber content of a layer diets. **Br. Poult. Sci.** 25: 187-193.

Mathlouthi, N., J. P. Lailles, P. Lepercq, C. Juste and M. Larbier. 2002. Xylanase and β-glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet. **J. Anim. Sci.** 80:2773–2779.

McDonald, P., A. Edwards. and J. F. D. Greenhalgh. 1988. **Animal Nutrition**. 4th ed., Longman, London.

Mushtaq, T., M. Sarwar, G. Ahmad, M. A. Mirza, H. Nawaz, M. M. Haroon Mushtaq and U. Noreen. 2007. Influence of Canola Meal-Based Diets Supplemented with Exogenous Enzyme and Digestible Lysine on Performance, Digestibility, Carcass and Immunity Responses of Broiler Chickens. **Poult. Sci.** 86:2144–2151.

Ngoupayou, J.D.N. 1984. Nutritional value of palm kernel cake in broiler diets. **Poult. Sci.** 63 supp. 1 :155-156.

NRC. 1994. **Nutrient requirements of poultry.** 9th ed. National Academy Press., Washington, DC.

Nwokolo, E.N., Bragg, D.B. and Saben, H.S. 1976. The availability of amino acids from palm kernel, soyabean, cotton seed and rape seed meal for the growing chick**. Poult. Sci.** 55: 2300-2304.

_____,_____and _____. 1977. A Nutritive evaluation of Palm kernel meal for use in poultry ration. **Tropical Sci.** 19 (3) : 147 – 154.

Onifade, A.A. and Babatunde, G.M. 1998. Comparison of the utilization of palm kernel meal, brewers dried grains and maize offal by broiler chicks. **Br. Poult. Sci.** 39: 245-250.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Onwudike, O. C. 1986. Palm kernel meal as a feed for poultry. 1. Composition of palm kernel meal and availability of its amino acid to chick. **Anim. Feed Sci. Technol.** 20: 179-186.

Onwudike, O. C. 1988. Palm kernel meal as a feed for poultry. 4. use of palm kernel meal by laying birds. **Anim. Feed Sci. Technol.** 20: 279-286.

Osei, S. A. and J. Amo. 1987. Palm kernel cake as a broiler feed ingredient. **Poult. Sci.** 66: 1870-1873.

Panigrahi, S. and C. J. Powell. 1991. Effects of high rates of inclusion of palm kernel meal in broiler chick diets. **Anim. Feed Sci. Technol**. 34: 37-47

Patterson, P. 2001. **Using Dietary and Management Strategies to Reduce the Nutrient Excretion of Poultry.** Pennsylvania State University.

Roehrig, K.L. 1984. **Carbohydrate Biochemistry and Metabolism**. AVI Publishing company, INC, Connecticut.

Sekoni, A.A., J.J. Omage, G.S. Bawa and P.M. Esuga. 2008. Evaluation of Enzyme (Maxigrain®) Treatment of Graded Levels of Palm Kernel Meal (PKM) on Nutrient Retention. **Journal of Nutrition**. 7 (4): 614-61.

Sherif, Kh. El. 2009. Effect of using probiotics and enzymes with plant-protein diets in broiler performance. **J. Agric. Sci.** 34 (5): 4493-4505.

Southgate, D. A.T. 1976. **Determination of Food Carbohydrates**. Applied Science Publishers, London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sundu, B., Kumar, A. and Dingle, J.G. 2005a. Response of birds fed increasing levels of palm kernel meal supplemented with enzymes. **Australian Poultry Science Symposium**. 17: 227-228.

Sundu, B., Kumar, A. and Dingle, J.G. 2005b. The importance of physical characteristics of feed for young broilers. **Queensland Poultry Science Symposium** 12:63-75

_____. and Antranikian, G. 1997, "Xylanolytic enzymes from fungi and bacteria". **Critical Reviews in Biotechnology.** 17: 39-67.

Toma. R.B. and D.J. Curtis. 1986. Dietary fiber: effect on mineral bioavailability. **J. Food Technol.** 40 : 111-116.

Van Barneveld, R. J. and R. J. Hughes. 1994. **The nutritive value of lupins for pigs and poultry. In: First Australian Lupin Technical Symposium**. Ed. M. Dracup and J. Palta**.** Perth, Western Australia. pp. 49-57.

Vranjes, M. V., H. P. Pfirter and C. Wenk. 1994. Influence of processing treatment and type of cereal on the effects dietary enzymes in broiler diets. **Anim. Feed Sci. Technol.** 46:261-270.

Wagner, D. D. and O. P. Thomas. 1978. Influence of diets containing rye or pectin on the intestinal flora of chicks. **Poult. Sci.** 57:971-975.

Yeong, S.W. 1981. **Biological Utilization of Palm Oil By-Products by Chickens.** Ph.D. Dissertation. University of Malaya.

_____. 1983. Amino acid availability of palm kernel cake, palm oil sludge and sludge fermented product (Prolima) in studies with chickens. **Mardi Research Bulletin.** 11:84-88.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____, T. K. Mukherjee, M. Faizah and M. D. Azizah. 1983. Effect of palm oil by-product based diet on reproductive performance of layers including residual effect on offspring. **Philippine J. Vet. Anim. Sci.** 9: 93-100.

Zyl, W.H., S.H. Rose, K. Trollope and J.F Gorgens. 2010. Fungal ß-mannanases: Mannan hydrolysis, heterologous production and biotechnological applications. **Proc. Biochem.** 45: 1203-1213.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง

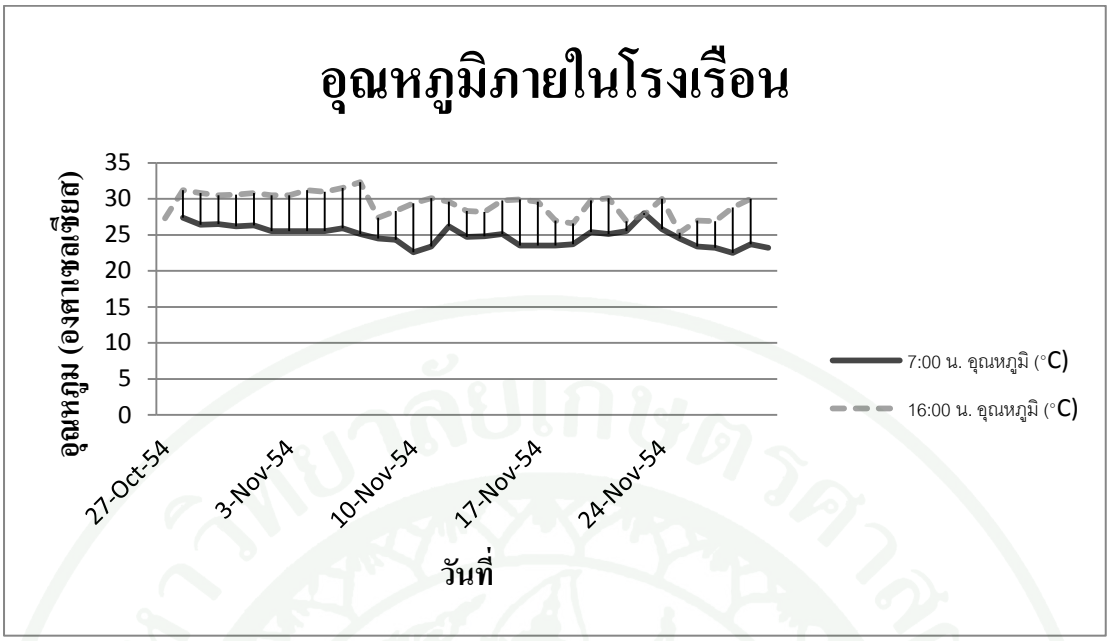
ว /ด /ป	7:00 น.						16:00 น.					
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)
27-Oct-54							27.3	77				
28-Oct-54	27.4	79					31.2	55				
29-Oct-54	26.4	84					30.8	61	32.1	89	26.1	52
30-Oct-54	26.5	80	32.1	89	26.1	52	30.5	56	32.1	89	26.1	52
31-Oct-54	26.2	83	32.1	89	25.6	52	30.6	53	32.1	89	25.6	51
1-Nov-54	26.3	77	32.1	89	25.2	51	30.8	53	32.1	89	25.2	50
2-Nov-54	25.5	85	32.1	89	25.2	50	30.5	51	32.1	89	25.2	49
3-Nov-54	25.5	81	32.1	89	25.2	49	30.5	49	32.1	89	25.2	46
4-Nov-54	25.5	78	32.1	89	25.2	46	31.2	47	32.1	89	25.2	43
5-Nov-54	25.5	79	32.1	89	25.2	46	31	49	32.1	89	25.2	43
6-Nov-54	25.9	81	32.1	89	25.2	46	31.5	54	32.1	89	25.2	43
7-Nov-54	25.1	82	32.1	89	25.2	46	32.3	49	33.2	89	24.3	43
8-Nov-54	24.5	84	33.2	89	24.3	43	27.4	78	33.2	89	24.3	43

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

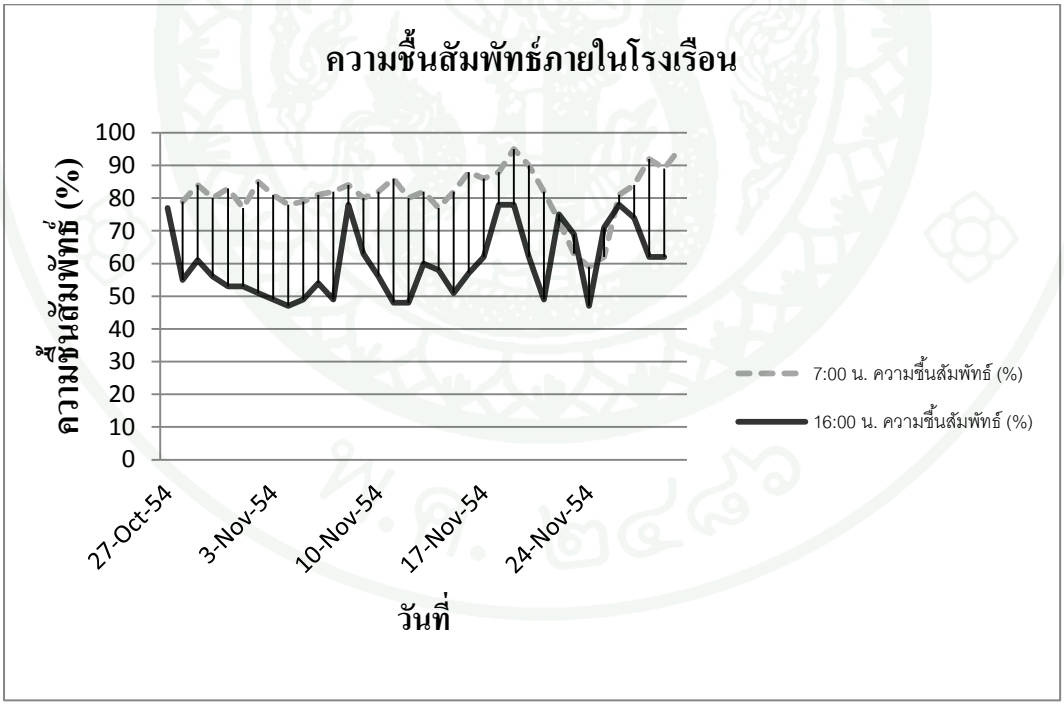
ว /ด /ป	7:00 น.						16:00 น.					
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)
9-Nov-54	24.3	80	33.2	89	24.3	43	28.3	63	33.2	89	24.3	43
10-Nov-54	22.6	82	33.2	89	24.3	43	29.4	56	33.2	89	24.3	43
11-Nov-54	23.4	86	33.2	89	24.3	43	30.1	48	33.2	89	24.3	43
12-Nov-54	26.2	80	33.2	89	24.3	43	29.6	48	33.2	89	22.6	41
13-Nov-54	24.7	82	33.2	89	22.6	41	28.3	60	33.2	89	22.6	41
14-Nov-54	24.8	77	33.2	89	22.6	41	28.2	58	33.2	89	22.6	41
15-Nov-54	25.1	82	33.2	89	22.6	41	29.8	51	33.2	89	22.6	41
16-Nov-54	23.5	88	33.2	89	22.6	41	29.9	57	33.2	89	22.6	41
17-Nov-54	23.5	86	33.2	89	22.6	41	29.6	62	33.2	89	22.6	41
18-Nov-54	23.5	88	33.2	89	22.6	41	27	78	33.2	89	22.6	41
19-Nov-54	23.7	95	33.2	95	22.4	41	26.6	78	33.2	95	22.4	41
20-Nov-54	25.4	90	33.2	95	22.4	41	29.8	62	33.2	95	22.4	41
21-Nov-54	25.1	82	33.2	95	22.4	41	30.1	49	33.2	95	22.4	40

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ว /ด /ป	7:00 น.						16:00 น.					
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (%)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C).	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (%)
22-Nov-54	25.5	73	33.2	95	22.4	40	26.9	75	33.2	95	22.4	40
23-Nov-54	28	63	33.2	95	22.4	40	27.8	69	33.2	95	22.4	40
24-Nov-54	25.8	59	33.2	95	22.4	40	30	47	33.2	95	22.4	40
25-Nov-54	24.5	62	33.2	95	22.4	40	25.3	71	33.2	95	22.4	40
26-Nov-54	23.4	81	33.2	95	22.4	40	27	78	33.2	95	22.4	40
27-Nov-54	23.2	84	33.2	95	22.4	40	26.9	74	33.2	95	22.4	40
28-Nov-54	22.5	92	33.2	95	22.4	40	28.8	62	33.2	95	22.4	40
29-Nov-54	23.7	89	33.2	95	22.4	40	30	62	33.2	95	22.4	40
30-Nov-54	23.2	95	33.2	95	22.4	40						



ภาพผนวกที่ 1 อุณหภูมิภายในโรงเรือนเวลา 7:00 น. และ 16:00 น.



ภาพผนวกที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในเวลา 7:00 น. และ 16:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนิสารัตน์ เหย้าภักดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 กรกฎาคม 2532
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สัตวศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์