บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ปลาโมง

ปลาโมง หรือ ปลาเผาะ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pangasius bocourti* เป็นปลาน้ำจืดที่อยู่ในตระกูลเดียวกับปลาเทพา เทโพและสวาย สามารถจำแนกตามอนุกรมวิธานได้ดังนี้ (Nelson, 1994)

Phylum: Chordata

Class: Actinopterygii

Order: Siluriformes

Family: Pangasiidea

Genus: Pangasius

Species: *Pangasius bocourti*

รูปร่างลักษณะของปลาโมงคล้ายคลึงกับปลาในสกุล Pangasius ชนิดอื่น แต่ลักษณะ หัวกลมมนกว่าปลาในตระกูลเดียวกัน มีหนวดที่มุมปาก 1 คู่ ใต้คาง 1 คู่ ปากแคบ รูปร่างป้อม ท้องอูม ลำตัวตอนหน้าค่อนข้างกลม และแบนข้างเล็กน้อยที่ด้านท้าย ปลาวัยอ่อนมีสีเทาเหลือบเหลืองหรือเขียวอ่อน ข้างลำตัวมีแถบคล้ำ ครีบอกมีแต้มสีจาง ส่วนในปลาตัวเต็มวัยมีสีเทาอมน้ำตาลอ่อนหรือฟ้าอ่อน ท้องสีขาว ครีบสีจางและครีบหางมีแถบสีคล้ำจาง มีขนาดประมาณ 60-80 ซ.ม. (ศิราณี และธีระชัย, 2548) ปลาในสกุล Pangasius มีลักษณะที่สำคัญ คือ กระดูกสันหลังตอนต้นดัดแปลงไปเป็น Elastic spring มีลักษณะเป็นกระดูกเรียวโค้งและปลายเป็นแผ่นกลม ไม่เชื่อมติดกับกระดูกท้ายกะโหลกอย่างในสกุลอื่น ชวลิต (2536) อ้างโดย รัตนสุดา (2554) และยังสามารถพบได้ในประเทศไทย, กัมพูชา (Roberts and Vidthayanon, 1991), ลาว (Roberts, 1993), เวียดนาม (Sokheng *et al.*, 1999) และบริเวณลุ่มแม่น้ำโขงรวมถึงแม่น้ำเจ้าพระยาบ้างเล็กน้อย (ธีระพันธ์ และคณะ, 2533)

Tyson (1991) กล่าวถึงปลาโมงมีความแตกต่างจากปลาในตระกูล (Genus) เดียวกัน คือ นอกจากลักษณะหัวที่กลมมนกว่า (More rounded head) ปลาชนิดอื่นๆแล้ว ยังมีจำนวนซี่กรองอาหาร (Gill racker) บนกระดูกเหงือกอันแรกจำนวน 36-46 ซี่ ซึ่งมีมากกว่าในปลาชนิดอื่นๆ และมีปล้องของกระดูกสันหลังจำนวน 45-49 ปล้อง นอกจากนี้ปลาโมงยังมีลักษณะฟันบนเพดานปาก (Vomeropalatine teeth) อยู่กันเป็นแผ่นๆ โค้งต่อกันเป็นรูปพระจันทร์เสี้ยว และมีกระเพาะลมแบ่งเป็น 2 ตอน ส่วนปลายของกระเพาะลม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สิ้นสุด ณ ตำแหน่งครีบก้นตอนต้น พบเมือกเหนียวเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีต่อมสร้างเมือก (Mucous gland) อยู่ที่บริเวณโคนครีบหูจำนวน 3 รู (Baird *et al.*, 1999) ปลาโมงมีเมือกมาก อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนที่ละลายน้ำสูง และจัดเป็นปลากินซาก วิวัฒน์ และชัยศิริ (2531) ศึกษาชีววิทยาบางประการของปลาโมงในแม่น้ำโขง ณ จังหวัดเชียงราย พบว่าปลาโมงเป็นปลากินพืชและเนื้อ พบชนิดของอาหารในกระเพาะ เศษเนื้อปลา ปู และกระดูก (7.69 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งประกอบไปด้วยเศษเนื้อ (46.15 เปอร์เซ็นต์) เมล็ดพืชและผลมะเดื่อ (30.77 เปอร์เซ็นต์) ในธรรมชาติปลาชนิดนี้มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1 : 1.5 ไข่ของปลาโมงเป็นไข่ติดจมน้ำ มีลักษณะกลม สีขาวอมเหลืองใส ความดกของไข่เฉลี่ย 157,040 ฟอง (ชัยศิริและวิวัฒน์, 2538)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปลาโมง
ที่มา : หนังสือพิมพ์เดลินิวส์, 2553

2.1.1. การเพาะพันธุ์ปลาโมง

การเพาะขยายพันธุ์ปลา หมายถึง การทำให้พ่อแม่พันธุ์ปลาที่ได้จากธรรมชาติหรือบ่อเลี้ยงปลาสามารถสืบพันธุ์และวางไข่ได้ ทำให้มีลูกพันธุ์ที่จำนวนมากขึ้น กิจกรรมหรือวิธีการนั้นครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมพ่อแม่พันธุ์ การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ การเลือกวิธีการเพาะพ่อแม่พันธุ์ การฟักไข่ และการอนุบาล (โชคชัย, 2548)

1. การคัดพ่อแม่พันธุ์

การคัดเลือกแม่ปลาที่มีความสมบูรณ์เพศ โดยการใช้ Flexible Catheter หรือใช้สายยางเล็กๆ ดูดไข่ เพื่อนำไข่มาวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไข่ด้วยเวอร์เนียมิเตอร์ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไข่เท่ากับ 1.6-1.8 มิลลิเมตร) ส่วนปลาเพศผู้ที่สมบูรณ์เพศเต็มที่ เพียงกดเบาๆ ที่ช่องเพศน้ำเชื้อก็จะไหลออกมา (Cacot, 1999; Tuan, 1999)

2. การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์

แม่ปลาเจริญพันธุ์ (Mature) เมื่ออายุได้ 4 ปี ขึ้นไป แต่ในปลาที่ยังไม่เจริญพันธุ์สังเกตความแตกต่างระหว่างเพศแทบไม่ได้เลย เลี้ยงปลาเพศผู้และเพศเมียรวมในบ่อเดียวกัน เลี้ยงด้วยอาหารผสม

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ให้กินวันละ 1% ของน้ำหนักตัว (อาหารผสม = ปลาเป็ดบดละเอียด : ปลาป่น ร่วมกับ วิตามิน E, วิตามิน C และน้ำมันหมึก อัตราส่วน 2:2:1 คือ วิตามิน E 0.050 กรัมต่อกิโลกรัม, วิตามิน C 0.025-0.050 กรัมต่อกิโลกรัม และน้ำมันหมึก 0.5-1%) เริ่มเพาะพันธุ์ได้ในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน (อรรณพ, 2549)

3. การผสมเทียม

ไข่ปลาโมงเป็นไข่แบบจมติดวัสดุ (Adhesive-demersal egg) จึงเพาะพันธุ์โดยการผสมเทียมด้วยวิธีแห้ง (Dry method) โดยรีดไข่ปลาลงในภาชนะที่แห้งสนิท จากนั้นรีดน้ำเชื้อลงผสมและใช้ขนไก่คนให้เข้ากันเพื่อให้น้ำเชื้อเคลือบผิวของไข่และนำไข่ไปโรยในตาข่ายมุ้งสีฟ้าขนาด 20 ช่องต่อนิ้ว หรืออาจจะนำไข่ปลาที่ผสมกับน้ำเชื้อแล้วไปเคลือบดินสอพองที่ละลายน้ำ (ดินสอพอง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร) เพื่อไม่ให้ไข่ติดกัน แล้วนำไปฟักในกรวยที่เปิดน้ำไหลผ่านตลอดเวลา (อรรณพ, 2549)

4. การอนุบาลและการเพาะเลี้ยงปลาโมง

ชัยศิริ และวิวัฒน์ (2538) ศึกษาการอนุบาลลูกปลาโมงวัยอ่อนที่ฟักออกเป็นตัวใหม่ๆ ในบ่อซีเมนต์ขนาด 2 x 2 x 0.6 เมตร ระดับน้ำลึก 0.3 เมตร ปล่อยในอัตรา 25 ตัว/ลิตร ให้ระบบน้ำไหลผ่านตลอดเวลาเพื่อเพิ่มออกซิเจน ลูกปลาอายุ 2-21 วัน ให้กินไรแดงและไข่ตุ๋น อายุ 21-35 วัน ให้รำและปลาป่นโดยให้วันละ 6 ครั้ง แต่ละครั้งเว้นระยะห่างกัน 4 ชั่งโมง ดูดตะกอนทุกวัน เมื่ออายุ 35-90 วัน ให้รำและปลาป่นร่วมกับอาหารเม็ดขนาดเล็กได้ โดยให้วันละ 3 มื้อ และเพิ่มออกซิเจนในน้ำโดยใช้เครื่องตีน้ำ ซึ่งการอนุบาลลูกปลาโมงในถังไฟเบอร์กลาสที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาจะทำให้ลูกปลาโมงมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายที่สูงกว่าลูกปลาโมงที่อนุบาลในตู้กระจก

Hung *et al.* (2002) กล่าวว่า การอนุบาลลูกปลาโมงด้วยอาร์ทีเมีย ไรแดงและ หนอนแดง ทำให้ลูกปลาโมงมีอัตราการรอดตายอยู่ระหว่าง 91-93% และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในอาหารทั้ง 3 ชนิด และลูกปลาโมงที่เลี้ยงด้วยอาร์ทีเมีย และหนอนแดงมีการเจริญเติบโต 35-36% ต่อวัน ส่วนลูกปลาโมงที่เลี้ยงด้วยไรแดงมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

2.1.2. การเลี้ยงปลาโมง

การเพาะเลี้ยงปลาโมง จากการสำรวจข้อมูลจากเกษตรกรที่เลี้ยงในปัจจุบันพบว่าเลี้ยงอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การเลี้ยงแบบพื้นบ้านและการเลี้ยงเชิงพาณิชย์

1. การเลี้ยงแบบพื้นบ้าน

เกษตรกรใช้วัสดุที่เหลือจากการผลิตส้มปลาชะโด ได้แก่ เศษกระดูกปลานวลจันทร์เทศหรือปลายี่สกเทศ ผสมกับรำละเอียดในอัตรา 2 : 1 ให้กินจนอิ่มประมาณ 70% ของท้อง ให้อาหาร2-3 วัน/ครั้ง ในช่วงที่ไม่มีกระดูกปลาก็ให้อาหารเม็ดลอยน้ำระดับโปรตีน 25% แทน โดยเริ่มต้นเลี้ยงปลาโมงใน

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กระชังในแม่น้ำโขง ตั้งแต่ขนาด 3 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 60-100 ตัว/ลูกบาศก์เมตร เลี้ยงนาน 1-1.5 ปี ได้ปลาน้ำหนัก 700-1,200 กรัม การเลี้ยงวิธีนี้พบบริเวณ ต.ไชยบุรี อ.ท่าอุเทน จ.นครพนม (สถาบันอาหาร, 2549)

2. การเลี้ยงเชิงพาณิชย์

เกษตรกรเลี้ยงปลาโมงในแม่น้ำโขงด้วยอาหารเม็ดลอยน้ำ ระดับโปรตีน 25-30% ให้ปลากินอาหารจนอิ่ม วันละ 2 ครั้ง เวลาเช้าและเย็น โดยเริ่มต้นเลี้ยงปลาตั้งแต่ขนาด 3 นิ้ว ที่ความหนาแน่น 100 ตัว/ลูกบาศก์เมตร เลี้ยงเป็นเวลา 7 เดือนถึง 1 ปี ได้ปลาน้ำหนัก 700-1,200 กรัม อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อประมาณ 1.6 การเลี้ยงวิธีนี้พบบริเวณ อ.ท่าอุเทน จ.นครพนม สามารถเลี้ยงได้ทั้ง 2 กรณี คือการเพาะเลี้ยงในกระชังและการเพาะเลี้ยงในบ่อดิน (อรรณพ, 2549)

2.1.3. การตลาดของปลาโมง

สถาบันอาหาร (2539) อ้างโดย สุดาพร และคณะ (2554) กล่าวว่าจากการศึกษาวิเคราะห์ในขั้นต้นถึงศักยภาพทางการตลาดและการผลิตของโลกในขณะนี้พบว่า ปลาชนิดนี้เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศสูง คือประมาณ 468 ล้านตัว และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกาเป็นตลาดใหญ่ที่มีความต้องการในการบริโภคสูงมาก โดยสหภาพยุโรปต้องการนำเข้าเพื่อทดแทนปลา Halibut ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นเนื้อสีขาว ก้างน้อยและไขมันต่ำ (Low fat content) เหมือนกับปลา Panga ส่วนตลาดใหม่ที่มีอนาคต ได้แก่ ยุโรปตะวันออก, รัสเซีย, กลุ่มประเทศ CIS และเอเชีย ทั้งนี้ความต้องการของตลาดในภาพรวมนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 45 ต่อปี ในขณะที่มีผู้ผลิตและจำหน่ายเพียงรายเดียวเท่านั้นคือ ประเทศเวียดนาม

ปลาโมงมีเนื้อสีขาวและรสชาติดีเป็นที่ต้องการของตลาด ทำให้มีราคาสูงโดยเฉพาะขนาด 0.7-1 กิโลกรัมๆ ละ 50 บาท และขนาด 1.5-2 กิโลกรัมๆ ละ 150 บาท (Prasertwattana *et al.*, 2003) นอกจากนี้ปลาเผาะยังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อันได้แก่ กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และในอนาคตอาจมีตลาดใหม่ในประเทศรัสเซียและตลาดเอเชีย ปัจจุบันประเทศที่ส่งออกปลาโมงในรูป Fillet มีเพียงประเทศเดียวคือประเทศเวียดนาม ส่งออกโดยใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า Fillet มีปริมาณการส่งออกในปี 2542 จำนวน 20,000 ตัน และ ปี 2547 มีปริมาณการส่งออก 120,000 ตัน มูลค่าการตลาด 17,000 ล้านบาท แต่ประเทศเวียดนามเริ่มประสบปัญหาคุณภาพผลผลิต คือ เนื้อปลามีน้ำหนักลดลง และสีของเนื้อปลาที่เปลี่ยนไป (สีเนื้อปลาที่ตลาดยุโรปต้องการเป็นสีขาว) แต่ตลาดต่างประเทศยังมีความต้องการนำเข้าเนื้อปลาเผาะอีกเป็นปริมาณมาก จึงเป็นโอกาสดีของประเทศไทย ที่จะพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาโมงให้เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่เพื่อการส่งออกทดแทนสินค้าเกษตรและอาหารบางชนิด เช่น กุ้งและไก่ ที่มีการส่งออกลดลง และเชื่อว่าปลาโมงจะสามารถส่งออกและสร้างรายได้ให้กับประเทศไม่ต่ำกว่าปีละ 160 ล้านบาท (อรรณพ, 2549)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.2. เอนไซม์ (Enzyme)

การศึกษาด้านเอนไซม์ เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1833 โดย ปาเยน (Payen) และเปอร์โซ (Persoz) รายงานการตกตะกอนของสารสกัดมอลท์ด้วยแอลกอฮอล์ พบว่าเป็นโปรตีนที่สามารถเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จึงให้ชื่อว่า ไดแอสเทส (Diastase) ซึ่งปัจจุบันรู้จักกันในชื่อ อะไมเลส (Amylase) ต่อมาในปี ค.ศ. 1878 คุนม์ (Kuhne) ได้เปลี่ยนชื่อเป็นเอนไซม์ มาจากภาษากรีก แปลว่า ในยีสต์ ต่อมา บุคเนอร์ (Buchner) ได้พิสูจน์ว่าสารที่สกัดได้จากยีสต์สามารถทำให้เกิดการหมักของน้ำตาลได้ โดยไม่ต้องอาศัยเซลล์ยีสต์ที่ยังคงมีชีวิตอยู่ ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าสารสกัดจากยีสต์มีเอนไซม์อยู่หลายชนิด ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอน ไดออกไซด์ โดยเอนไซม์เหล่านั้นสามารถทำงานได้ทั้งในสภาพที่อยู่ในเซลล์ที่มีชีวิต หรือในสภาพที่ถูกสกัดจากเซลล์ ส่วนเอนไซม์อื่นๆ ได้มีการค้นพบในช่วงปลายของคริสต์ศักราชที่ 19 (Dixon and Webb, 1979)

2.2.1. ความหมายของเอนไซม์

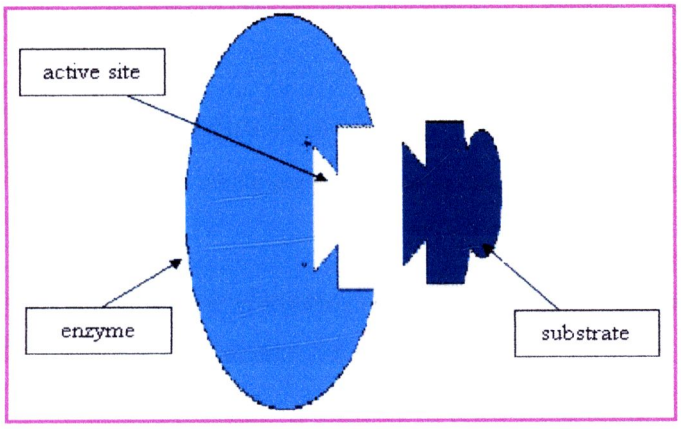
เอนไซม์ คือ ตัวเร่ง ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิต (Biocatalyst) ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น 10^{3}-10^{17} เท่าของปฏิกิริยาเดิมที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้ภาวะไม่รุนแรง ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับภาวะภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทั่วไป มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ทำปฏิกิริยา เรียกว่า สับสเตรท (Horton *et al.*, 2002) เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนลักษณะกลม (Globular protein) ความสามารถของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับโครงรูป (Conformation) ของโปรตีน มีการขดตัวที่จำเพาะและกำหนดโดยการเรียงลำดับของกรดอะมิโน (มนตรี และคณะ, 2542) เอนไซม์บางชนิดไม่สามารถทำงานได้หากขาดส่วนประกอบอื่นๆที่จำเป็นนอกเหนือจากโปรตีน เอนไซม์ที่ทำงานเมื่อมีไอออนของโลหะเรียกว่าโคแฟคเตอร์ (Cofactor) เช่น Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+} และ Zn^{2+} หรืออาจเป็นสารประกอบอินทรีย์เรียกว่าโคเอนไซม์ (Coenzyme) ส่วนของเอนไซม์ที่ประกอบไปด้วยโคเอนไซม์หรือไอออนของโลหะ จะเรียกว่าโฮโลเอนไซม์ (Holoenzyme) และส่วนที่เป็นโปรตีนจะเรียกว่าอะโพเอนไซม์ (Apoenzyme) โดยส่วนใหญ่ โคเอนไซม์เป็นสารอินทรีย์หรืออนุพันธ์ของวิตามิน (Lehninger *et al.*, 1993)

2.2.2. กลไกการทำงาน

เอนไซม์เป็นโปรตีนลักษณะกลม ทำให้มีบริเวณเร่ง (Active site) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องบนผิวของโมเลกุล สามารถจับกับสับสเตรต โดยสับสเตรตจะจับกันได้พอดีกับบริเวณเร่ง มีความ จำเพาะเจาะจงตามทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ (Lock-and-key model) ของอีมิล ฟิชเชอร์ (Emil Fischer) โดยเอนไซม์จะรวมตัวกับสับสเตรตก่อให้เกิด Enzyme-substrate complex (ES) เป็นผลให้โมเลกุลของ

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

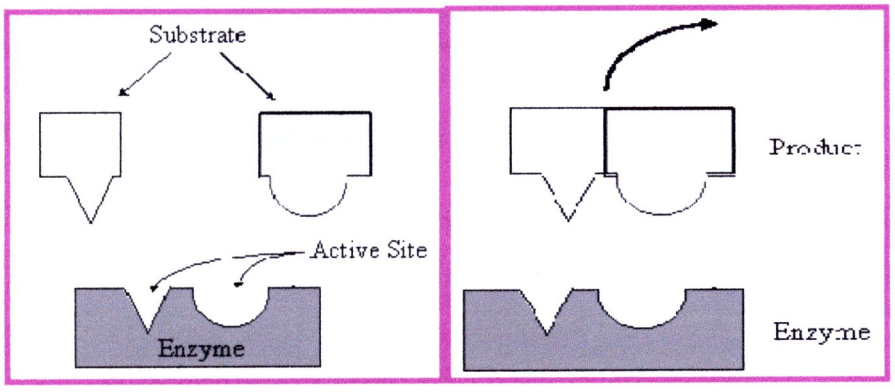
สับสเตรตมีความว่องไวมากขึ้น ต้องการพลังงานเริ่มต้นน้อยลง เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดสับสเตรตจะถูกเปลี่ยนเป็นผลผลิต (Product) เอนไซม์จะหลุดออกจากโมเลกุลและเข้าไปจับกับสับสเตรตตัวอื่น กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้อีก (Methews and Van holde, 1996)



ภาพที่ 2 ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ

ที่มา : Methews และ Van holde (1996)

ต่อมาเดเนียล โคชแลนด์ (Daniel Koshland) ได้เสนอทฤษฎีเหนี่ยวนำให้พอดี (Induced fit model) โดยเสนอว่าบริเวณเร่งของเอนไซม์ไม่จำเป็นต้องมีขนาดและลักษณะที่คงตัว แต่สามารถยืดหยุ่นได้ด้วยการเรียงตัวของหมู่อัลคิล (R-group) ของกรดอะมิโนใหม่ และเมื่อถูกชักนำด้วยโมเลกุลของสับสเตรต บริเวณหมู่เอนไซม์จับกับหมู่ต่างๆ บนสับสเตรตได้พอดี (Methews and Ven hold, 1996)



ภาพที่ 3 ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้พอดี

ที่มา : Methews และ Van holde (1996)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.2.3. การจำแนกชนิดของเอนไซม์

การจำแนกชนิดของเอนไซม์ตามข้อตกลงของเอนไซม์ (Commission on enzyme, EC) แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ตามชนิดของปฏิกิริยาที่เอนไซม์ของตังเร่ง

1. ออกซิโดรีดักเตส (Oxidoreductases) เร่งปฏิกิริยาที่มีการถ่ายอิเล็กตรอน (oxidation-reduction) ระหว่างโมเลกุล เช่นอะตอมของไฮโดรเจน ออกซิเจน หรืออิเล็กตรอน ปฏิกิริยามีหลายรูปแบบตามลักษณะตัวรับอิเล็กตรอน เอนไซม์กลุ่มนี้ ได้แก่ ดิไฮโดรจิเนส (Dehydrogenases) เร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนด้วยตัวรับที่ไม่ใช่ออกซิเจน ออกซิเดส (Oxidase) ถ่ายเทอิเล็กตรอนไปยังโมเลกุลของออกซิเจน (ธนเศรษฐ์, 2550)

2. ทรานซ์เฟอเรส (Transferrases) เร่งปฏิกิริยาการเคลื่อยย้ายอะตอมหรือกลุ่มอะตอมระหว่าง 2 โมเลกุล จากตัวให้ไปยังตัวรับ (ละเอียด, 2547)

3. ไฮโดรเลส (Hydrolases) เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเคมีในสารประกอบด้วยน้ำ เอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ เอสเทอเรส (Esterases), ไกลโคซิเดส (Glycosidases), ไลเปส (Lipases) และโปรจิเอส (Proteases) (นวมาลย์, 2548)

4. ไลเอส (Lyases) เอนไซม์กลุ่มนี้เร่งปฏิกิริยาการแยกโปรตรอน (H^+) ของสารประกอบตั้งต้น ทำให้เกิดพันธะคู่ในสารประกอบผลผลิต หรือทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนพันธะคู่ในสารประกอบตั้งต้นเป็นสารประกอบที่มีพันธะเดี่ยว (ธีรารัตน์, 2543)

5. ไอโซเมอเรส (Isomerases) เอนไซม์กลุ่มนี้เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์ของสารประกอบตั้งต้นจากซีสไอโซเมอร์ เป็นทรานส์ไอโซเมอร์ในผลผลิต หรือจากสารประกอบตั้งต้นแอลไอโซเมอร์ เป็นดีไอโซเมอร์ในผลผลิต (ธนเศรษฐ์, 2550)

6. ไลเกส หรือ ซินเทเทส (Ligases or synthetases) เอนไซม์กลุ่มนี้เร่งปฏิกิริยาการสร้างพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) ระหว่างโมเลกุล 2 โมเลกุล (Chaplin and Bucke, 1990)

2.2.4. เอนไซม์ในระบบย่อยอาหารของปลา

กระบวนการย่อยและการดูดซึมอาหารเป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต อาหารที่ปลากินเข้าไปจะถูกเคี้ยวหรือถูกกลืนทางหลอดอาหารไปยังกระเพาะและลำไส้ ซึ่งมีการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์

1. เอนไซม์ย่อยโปรตีน (Proteolytic enzyme)

โปรติเอส (Proteases) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการแยกสลายพันธะเปปไทด์ (peptide links) ของโปรตีน เอนไซม์ต่างๆ มีความสามารถทำปฏิกิริยาบนพันธะเปปไทด์ โดยเอนไซม์ที่สลายพันธะเปปไทด์ที่ตำแหน่งปลายสุดของโปรตีน เรียกว่า เอกโซเปปทิเดส (Exopeptidases) ส่วนเอนไซม์ที่

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สลายพันธะเปปไทด์ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งภายในโปรตีนเรียกว่าเอนโดเปปทิเดส (Endopeptidases) (Dixon and Webb, 1979) การย่อยโปรตีนเกือบทั้งหมดจะเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหาร เปปซิโนเจน (Pepsinogen) จะถูกย่อยสลายในสภาพที่เป็นกรดแล้วแตกตัวเป็นแปปซิน จากนั้นแปปซินจะถูกย่อยสลายโครงสร้างของโปรตีนออกมาเป็นโพลีเปปไทด์สั้นๆ (Polypeptides)ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 1.5-3 ทริปซิโนเจน (Trypsinogen) ถูกกระตุ้นโดยเอนเตอร์โรไคเนส (Enterokinase) จากลำไส้เปลี่ยนเป็นทริปซิน (Trypsin) ส่วนไคโมทริปซิโนเจน (Chymoterpsinogen) ที่สร้างจากตับอ่อนจะถูกกระตุ้นโดยทริปซิน เปลี่ยนเป็นไครโมทริปซิน (Chymoterpsin) ทริปซินและไครโมทริปซิน จะย่อยโพลีเปปไทด์ให้เป็นสายเปปไทด์สั้นๆ จากนั้นคาร์บอกซีเปปทิเดส (Carboxypeptidases) และอะมิโนเปปทิเดส (Aminopeptidases) จากตับอ่อนจะย่อยสลายเปปไทด์ ในที่สุดได้กรดอะมิโน (Lovell, 1998)

2. เอนไซม์ย่อยไขมัน (Lipolytic enzyme)

การย่อยไขมันเกิดขึ้นในลำไส้ เอนไซม์ที่พบคือ ไลเปส (Lipases) ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 7-7.5 ส่วนเอสเทอเรสย่อยเอสเทอร์ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 8-9 ตับมีบทบาทสำคัญในการย่อยไขมัน โดยน้ำดีถูกสร้างขึ้นที่ตับและเก็บไว้ในถุงน้ำดี จะหลั่งออกมาเมื่ออาหารมาถึงลำไส้ น้ำดีจะช่วยให้ไขมันแตกตัวจากหยดไขมันที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นไขมันขนาดเล็ก ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวและง่ายต่อการทำงานของเอนไซม์ (Dixon and Webb, 1979) จากนั้นจะถูกย่อยสลายด้วยไลเปส การย่อยไขมันจึงถูกเร่งปฏิกิริยาโดยไลเปสเป็นส่วนใหญ่ (Lovell, 1998)

3. เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต

เอนไซม์ทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดตรมีหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในทางเดินอาหารของปลา ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรดด่าง 6-8 โดยตับอ่อนจะเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต การย่อยแป้ง (Starch) และ ไกลโคเจน (Glycogen) เป็นโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ หรือมอลโตส (Maltose) จะถูกย่อยโดยแอลฟา-อะไมเลส (α-Amylases) ส่วนการย่อยไดแซ็กคาร์ไรด์ (Disaccharide) และโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์ เป็นโมโนแซ็กคาร์ไรด์ (Monosaccharide) และโพลีแซ็กคาร์ไรด์ (Polycharide) นั้น การทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต (Dixon and Webb, 1979)

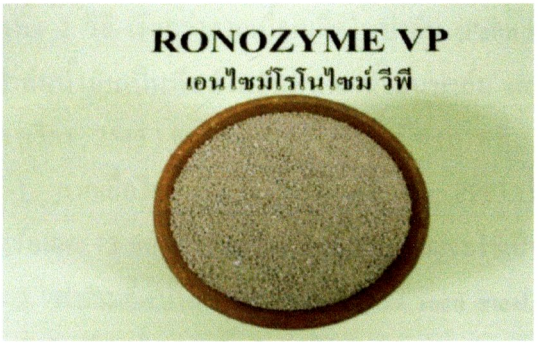
2.2.5. โรโนไซม์ วีพี (Ronozyme VP)

เยื่อใยที่พบในอาหารที่มาจากผนังเซลล์พืช (Plant cell walls) เป็นส่วนที่มีความแข็งแรงย่อยยาก เอนไซม์ในร่างกายไม่สามารถย่อยได้ (Buhlier *et al.*, 1998) เยื่อใยที่พบมากในอาหารคือ เซลลูโลส , เฮมิเซลลูโลส, เบต้ากลูแคน, เพคติน ,ลิกนิน และกัมส์ การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์น้ำเพื่อเปลี่ยนสาร

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เยื่อใยให้อยู่ในรูปที่สัตว์น้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ชนิดและปริมาณเอนไซม์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการย่อยสารเยื่อใยซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อน (เสกสม, 2544)

โรโนไซม์ วีพี (ภาพที่ 4) เป็นเอนไซม์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบของพืช สกัดจากเชื้อรา *Aspergillus aculeatus* ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เบต้ากลูคาเนส, เพคติเนส, เฮมิเซลลูเลส และเซลลูเลส มีความสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในผนังเซลล์พืชทั่วไป (Hunter, 2000) ในช่วงระยะหลายปีที่ผ่านมามีการพัฒนาอาหารสัตว์ โดยนำเอนไซม์มาเสริมในอาหารสัตว์เพื่อการเจริญเติบโต เริ่มแรกมีการทดลองในอาหารสัตว์บกและสัตว์ปีก โดยใช้เอนไซม์ เบต้า-กลูคาเนสและไซลาเนส นำเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เสริมลงไปในอาหารสุกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย วัตถุดิบที่นำมาทดลอง คือ รำข้าวสาลีและแป้งข้าวโพด พบว่าสุกรมีอัตราการแลกเนื้อและประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีขึ้น (Johnson *et al.*, 1993) และยังมีการทำการทดลองในไก่ที่มีอายุ 1 วัน กับไก่ที่มีอายุ 1 ปี เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต และความสัมพันธ์ของอายุไก่กับการทำงานของเอนไซม์ ผลปรากฏว่าไก่ที่มีอายุ 1 วัน มีประสิทธิภาพในการย่อยอาหารดีกว่าไก่อายุ 1 ปี เนื่องจากพัฒนาการย่อยอาหารของไก่อายุน้อยยังไม่สมบูรณ์ เมื่อเสริมเอนไซม์ลงไปทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตดีขึ้น ส่วนไก่อายุ 1 ปี ซึ่งมีระบบการย่อยอาหารสมบูรณ์เต็มที่อยู่แล้ว ดังนั้นการเสริมเอนไซม์จึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโต (Johnson *et al.*, 1993)



ภาพที่ 4 ลักษณะทางกายภาพ ของเอนไซม์โรโนไซม์วีพี

Carter และคณะ (1994) ทำการทดลองเลี้ยงปลาแอตแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon, *Salmo salar*) ด้วยอาหาร 3 สูตร ที่มีแหล่งโปรตีนต่างกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหารและการเจริญเติบโต โดยอาหารสูตรที่ 1 มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน สูตรที่ 2 ใช้ปลาป่นและถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เท่ากัน และสูตรที่ 3 ใช้ปลาป่นและถั่วเหลืองผสมเอนไซม์ โดยเอนไซม์ประกอบไปด้วย ทริปซิน, อัลคาร์ไรด์โปรติเอส, เอซิดโปรติเอส, อะไมโลกลูโคซิเดส, อะไมเลสที่สกัดจากมอลต์, อะไมเลสที่สกัดมาจากแบคทีเรีย และเซลลูเลส ผลการทดลองพบว่าปลาที่ได้รับสูตรอาหารทดลองที่ 3 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงสุด และ

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุด สรุปได้ว่าเอนไซม์มีผลต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เช่นเดียวกับการทดลองของ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) ซึ่งทำการหมักกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันด้วย โรโนไซม์ วีพี และนำไปผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นก่อนนำมาอัดเม็ด

2.3 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อสามัญว่า Oilpalm ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis guineensis Jacq* อยู่ในวงศ์ Tribe Coconeas และมีชื่อทั่วไปว่า African oil palm ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งผลิตออกมาได้น้ำมันสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลายประเภท นอกจากจะได้น้ำมันแล้วยังมีผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันอีกด้วย ปาล์มน้ำมัน เหมาะสมกับภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศไทย (ธีระพันธ์ และคณะ, 2552; จารุรัตน์, 2553)

2.3.1 ชนิดของกากปาล์มน้ำมัน

กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel) เป็นส่วนที่แยกเอาเปลือกและกะลาออกแล้วมีประมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีวิธีการสกัดน้ำมันออก 2 วิธี คือ 1) วิธีหีบน้ำมัน (Expeller pressed type) ทำได้โดยการใช้สกูรเป็นเกลียวบีบให้น้ำมันออก วิธีนี้จะยังมีน้ำมันเหลืออยู่มากประมาณ 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ และวิธีที่ 2) เป็นวิธีใช้สารเคมีสกัดน้ำมัน (Solvent extracted type) โดยการใช้สารเฮกเซน (Hexane) วิธีนี้จะทำให้กากที่ได้มีน้ำมันเหลืออยู่น้อยประมาณ 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ และจะมีคุณภาพดีกว่าวิธีหีบน้ำมัน กากที่ได้จากการสกัดน้ำมันทั้ง 2 วิธี เรียกว่ากากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Meal, PKM) (Cacot, 1988; Carter et al., 1994) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชสำหรับหีบเอาน้ำมันปาล์ม และจะได้กากปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้ในขบวนการผลิต (เวียง , 2543) จะมีผลพลอยได้ 5 ชนิด (ภาพที่ 5) คือ

1. กากเยื่อใยปาล์ม (Palm press fiber, PPF) เป็นส่วนเปลือกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้วมีประมาณร้อยละ 12 ของปาล์มทั้งทะลาย ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงาน

2. กากเมล็ดปาล์ม (Oil palm press seed meal, PSM) เป็นกากปาล์มที่ใช้เมล็ดโดยไม่แยกกะลาออก โดยทั่วไปเรียกว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm kernel cake, PKC) หรือกากเนื้อเมล็ดในปาล์มที่ไม่กะเทาะเปลือก และเป็นกากปาล์มที่มีการผลิตและมีการใช้เป็นอาหารสัตว์มาก กากปาล์มชนิดนี้มีส่วนประกอบของกะลาเนื้อมากและเห็นได้ชัด พบส่วนของเส้นใยปริมาณไม่มากนัก

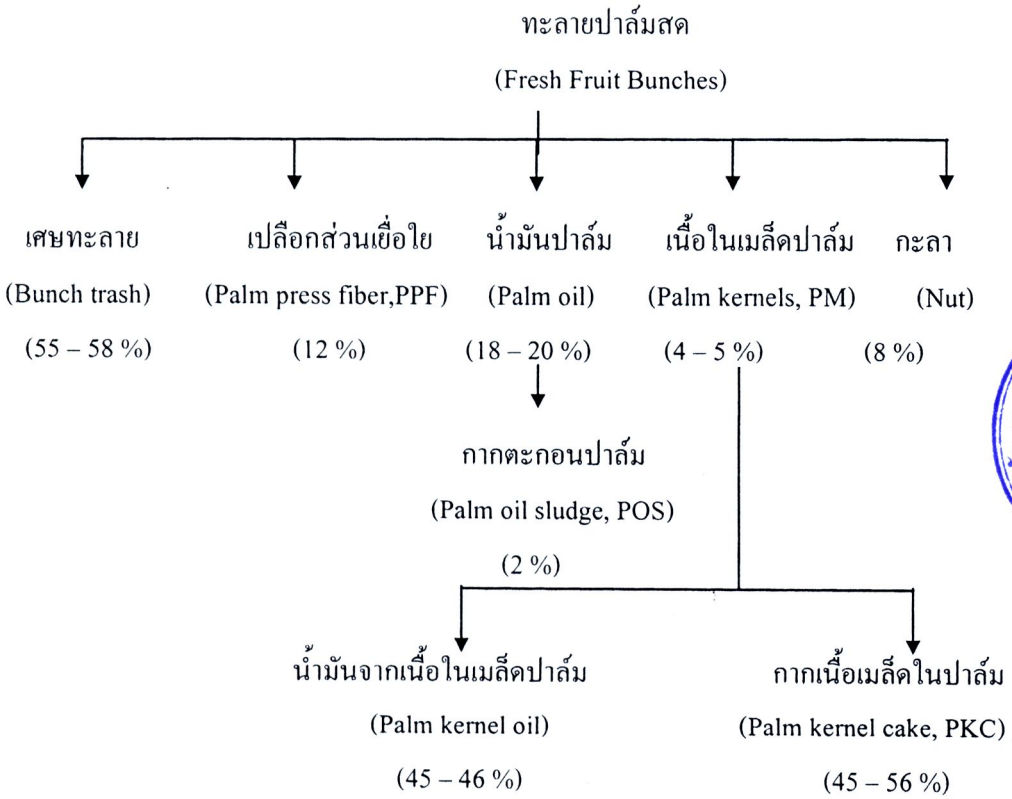
3. กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel meal, PKM) เป็นกากปาล์มที่เอาเฉพาะเนื้อในมาผ่านขบวนการสกัดน้ำมัน เป็นกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันพืชที่มีขนาดใหญ่มีขบวนการผลิตแยกส่วนซึ่ง มีความแตกต่างทางกายภาพกับกากปาล์มชนิดอื่นอย่างชัดเจน และประกอบด้วยส่วนของเนื้อเป็นส่วนมาก ชิ้นส่วนของกะลาปาล์มพบว่ามีปะปนเพียงเล็กน้อย

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. กากผลปาล์มน้ำมัน (Oil palm meal, PM) ประกอบด้วยเปลือกนอก (Husk) กะลา (Nut shell) และเนื้อในของเมล็ด (Palm kernel) (จิตรา, 2551) โดยมากกากปาล์มชนิดนี้จะได้จากโรงงานที่มีขบวนการผลิตแบบใช้เครื่องบีบน้ำมัน (expeller) และพบว่าเป็นกากปาล์มที่มีปริมาณการผลิตในท้องตลาดจำนวนมาก กากปาล์มชนิดนี้มีเยื่อใยและกะลามาก โดยเฉพาะส่วนเยื่อใยมีมากกว่ากากปาล์มชนิดอื่น ๆ

5. กากน้ำมันปาล์ม (Palm oil sludge, POS) ปริมาณของกากปาล์มชนิดนี้มีปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้จากการกรองน้ำมัน ลักษณะทางกายภาพแตกต่างกับกากปาล์มชนิดอื่น และประกอบด้วยส่วนของกะลา เส้นใยและเนื้อ แต่ค่อนข้างเป็นชิ้นละเอียด ยกเว้นสำหรับโรงงานที่นำมาผสมกากพืช เพื่อช่วยให้สามารถอัดน้ำมันที่เหลืออยู่ในตะกอนน้ำมันออกได้อีก แต่จะมีการนำกากปาล์มนี้ไปผสมรวมกับกากปาล์มน้ำมัน

กากปาล์มที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ควรจะเป็นชนิดกะเทาะเปลือกซึ่งมีโปรตีนประมาณ 14 – 16 เปอร์เซ็นต์ และยังมีไขมันเหลืออยู่ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ และมีกากหรือเยื่อใย 14 – 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ในอาหารสุกรและไก่ได้ถึง 30เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร แต่ที่เหมาะสมในการใช้คือระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะใช้มากจะทำให้เนื้อของอาหารมีลักษณะฟ่าม สัตว์จะกินอาหารได้น้อยลง (รัตนสุดา, 2552)



ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ที่มา : Lim *et al.* (1988)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 27 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 245589
เลขเรียกหนังสือ

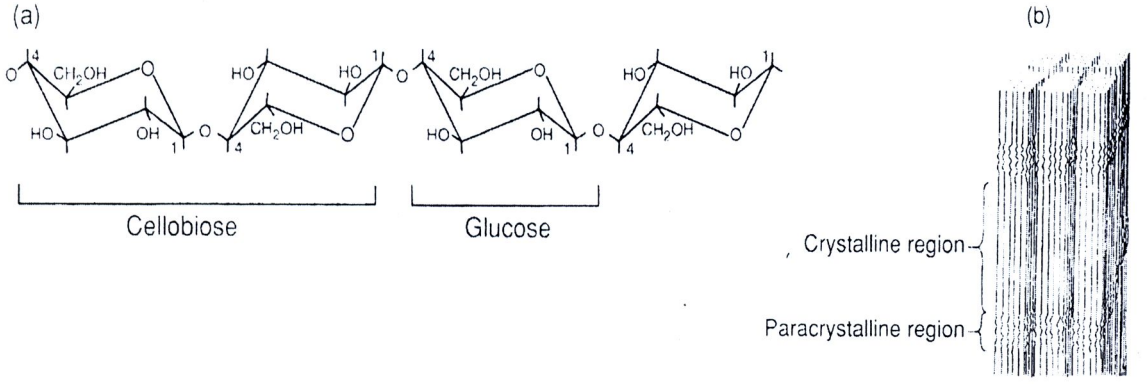
2.3.2. ข้อจำกัดในการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายได้แก่แป้งและน้ำตาล (mono-, disaccharide) นอกจากนี้ยังมีส่วนของเยื่อใยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch carbohydrate, NSC) หรือเยื่อใย ได้แก่ Non-starch polysaccharide (NSP) และ Oligosaccharide อื่นๆ ซึ่งในสัตว์ปีกไม่มีเอนไซม์ในการย่อยเยื่อใยเหล่านี้ (Buhlier *et al*, 1998) และใน PKM มีส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยอยู่สูงประมาณ 41-46 เปอร์เซ็นต์ (ศยามล และคณะ, 2548) ทำให้ไม่สามารถใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกในระดับสูงได้ เพราะจะทำให้อาหารมีลักษณะฟ่าม ทำให้อัตราการกินได้ของสัตว์ลดลง และมีการย่อยได้ต่ำมากหรืออาจย่อยไม่ได้เลย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสัตว์ (Buhlier *et al*, 1998, Lim *et al.* (1988))

ส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) และดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในไก่การย่อยโดยจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ของ NSC ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของตัวสัตว์ โครงสร้างทางเคมีของ NSC ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณของ NSC ในอาหาร (Lim *et al.* (1988)) NSC แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดนอกเหนือจากกลูโคส จับกันด้วยพันธะ β-1,3 และ β-1,4 glycosidic โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1) เซลลูโลส (cellulose) ไม่ละลายในน้ำ ในด่าง หรือ กรดอ่อน (ภาพที่ 6) 2) พอลิเมอร์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polymers) ละลายน้ำได้บ้าง เช่น arabinoxylan, β-glucans, mannans, galactans, xyloglucan และ fructans และ 3) เพคติน (pectin polysaccharide) ละลายน้ำได้ ประกอบด้วย กัม (gum) และเพคติน (pectin) ซึ่งเป็นยางเหนียวหนืดและหมักย่อยอย่างรวดเร็วในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (Mireille *et al.*, 2000; Lim *et al.* (1988) ; สุดารัตน์, 2540) จากการที่ NSP มีสูตรโครงสร้างและการละลายหลากหลาย ด้วยเหตุนี้เอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถย่อยสลาย NPS ได้ นอกจากนี้ NPS ที่ละลายน้ำ จะมีคุณสมบัติอุ้มน้ำ พองตัวเป็นสารคล้ายวุ้นไปห่อหุ้มสารอาหารชนิดอื่น ทำให้เพิ่มความหนืดของสิ่งย่อยและเคลื่อนตัวอย่างช้าๆในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเข้าย่อยของเอนไซม์จากสัตว์ NPS จึงเป็นสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนะอื่น (anti-nutrients) โดยเฉพาะไขมัน เนื่องจาก NSP ไปห่อหุ้มเกลือน้ำดี ไขมันและโคเลสเตอรอล ทำให้มีการเร่งการสร้างเกลือน้ำดีจากโคเลสเตอรอลที่ตับ และถูกขับออกทางมูล จึงมีผลกระทบต่อการย่อยและดูดซึมของกรดไขมันและโคเลสเตอรอลในทางเดินอาหาร ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในสัตว์ ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตและสมรรถภาพการผลิตลดลง (Mireille *et al.*, 2000; Lim *et al.* (1988) ; สุดารัตน์, 2540)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาพที่ 6 โครงสร้างของเซลลูโลส (a) โครงสร้างของ cellobiose และ glucose (b)โครงสร้างของ cellulose microfibrils ประกอบด้วย Crystalline region และ Paracrystalline region

ที่มา: Buhlier *et al.* (1998)

2. โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วย monosaccharide 2-15 หน่วยต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก เช่น ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharide, FOS) กาแลกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galacto-oligosaccharide, GOS) หรือ แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (manno-oligosaccharide, MOS) (สุดาพร, 2554) สุกรสามารถย่อยโอลิโกแซ็กคาไรด์ในลำไส้เล็กเพียง 40-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไก่ย่อยได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือจะถูกย่อยต่อในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ใน ลำไส้เล็ก จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เช่น แลคโตแบซิลัส (*Lactobacillus spp.*) และไบฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium spp.*) แต่ขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ เช่น อีโคไล (*E.* coli) คลอสตริเดียม (*clostridium*) และโคลิฟอร์ม (*Coliforms*) เป็นต้น มีผลกระตุ้นภูมิคุ้มกันของสัตว์ (Buhlier *et al.*, 1998) ทำให้สัตว์มีสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโอลิโกแซ็กคาไรด์และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้นี้ ถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เกิดเป็นกรดไขมันระเหยได้และกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids, SCFA) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลผลิตที่ได้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการเมตาบอลิสม เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และใช้คาร์บอนอะตอมที่ได้จากการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นโครงคาร์บอน (C-skeletal) ในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (สุดาพร, 2554) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะทำให้ pH ในลำไส้ลดลง ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ แต่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (ศิรานีและธีระชัย, 2548)

เนื่องจาก NSP มีสูตรโครงสร้างและการละลายหลากหลาย เอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถย่อยสลาย NPS ได้ ดังนั้นในการใช้ประโยชน์วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงจะต้องอาศัยเอนไซม์ที่จำเพาะในการย่อยโครงสร้างต่างๆเหล่านี้ (Kaushik, 2001; Lovell, 1998; McDonald and Greenhalgh, 1981;

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Nelson., 2008) โดยเอนไซม์สามารถย่อยองค์ประกอบของเยื่อใยทั้งเซลลูโลสและ เฮมิเซลลูโลสได้ออกมาเป็นน้ำตาล ดังนั้นเอนไซม์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการย่อยองค์ประกอบของโครงสร้างเยื่อใย (Lovell, 1998)

2.3.3. คุณค่าทางอาหารของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

Hung (2002) รายงานว่า PKM ที่ผ่านกรรมวิธีการสกัดแตกต่างกันจะมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยการสกัดด้วยสารเคมี (Solvent extracted type) จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้ต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน (Expeller pressed type) ดังนั้น PKM ที่ได้มาจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมีจึงมีคุณภาพดีกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับ อรรณนพ (2548); Cacot (1999); Yang *et al* .(2002); Tyson (2003) และ Tuan (1999) พบว่าการสกัดPKM ด้วยสารเคมี มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ปริมาณไขมันของ PKM ที่เหลือจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมี มีค่าประมาณอยู่ในช่วง 0.5 - 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไขมันเหลือจากวิธีการหีบน้ำมันอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 9 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันได้จากวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยการใช้สารเคมีกับการสกัดด้วยวิธีการหีบน้ำมัน

	แหล่งที่มาของข้อมูล				
วิธีการสกัดน้ำมัน	อรรณนพ (2548)	Cacot (1999)	Yang *et al.* (2002)	Tyson (2003)	Tuan (1999)
สกัดด้วยสารเคมี	0.73	0.50-3.00	1.00-2.00	0.50-3.00	0.95
สกัดด้วยการหีบน้ำมัน	9.12	5.00-12.00	4.00-8.00	5.00-12.00	7.83

แต่อย่างไรก็ตาม PKM จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังไม่พบสารพิษ Aflatoxin ใน PKM (Roberts and Vidthayanon, 1991) PKM ที่ได้จากการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการหีบน้ำมัน มีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) 88 – 94 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) 14.50 – 19.60 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) 13 – 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน (Ether extract, EE) 5 – 8 เปอร์เซ็นต์ เถ้า (Ash) 3 – 12 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (NFE) 46.70 – 58.80 เปอร์เซ็นต์ และ Neutral detergent fiber (NDF) 66.80 - 78.90 เปอร์เซ็นต์ (Alimon, 2004) ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องและใกล้เคียงกับผลการทดลองของ (Kaushik, 2001; Lovell, 1998; McDonald and Greenhalgh, 1981; Nelson., 2008) ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ Cacot (1999); รายงานว่า PKM ที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยการใช้สารเคมีมีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง โปรตีนหยาบ เยื่อใยหยาบ ไขมัน เถ้า ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์ (NFE) และ Neutral detergent fiber (NDF) มีค่าเท่ากับ 89.00, 15.30, 14.30, 2.90, 4.10, 63.40 และ 66.70 เปอร์เซ็นต์

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตามลำดับ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ Tyson (2003) และ Tuan (1999) ที่มีคุณค่าอาหารใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของ PKM ด้วยวิธีการสกัดน้ำมันโดยการหีบน้ำมันและการใช้สารเคมี

แหล่งที่มาของข้อมูล	ส่วนประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)					
	วัตถุแห้ง	โปรตีนหยาบ	เยื่อใยหยาบ	ไขมัน	เถ้า	ไนโตรเจนฟรีแอกแทรกซ์
การสกัดน้ำมันโดยการหีบน้ำมัน						
จินดา (2548)	-	14.46	26.29	9.21	4.53	45.51
Perez *et al.* (2000)	91.40	9.70	24.90	12.10	2.90	-
	92.70	14.60	12.10	9.10	4.30	59.90
Chin (2001)	93.00	14.80	15.70	9.80	4.20	55.50
	89.10	16.00	16.80	10.60	4.10	52.50
Alimon (2004)	88 - 94.5	14.5 - 19.6	13 - 20	5 - 8	3 - 12	46.7 - 58.8
Sue (2004)	91.00	14.00	23.00	8.00	6.00	-
Wing Keong (2004)	-	16.86	15.12	6.82	6.58	54.62
Dairo and Fasuyi (2008)	91.80	20.40	15.47	8.63	7.56	49.00
Sekoni *et al.* (2008)	94.00	14 – 21	21– 23	-	6.00	-
การสกัดน้ำมันโดยการใช้สารเคมี						
จินดา (2548)	-	16.15	16.03	0.73	7.91	59.91
Chin (2001)	89.00	15.30	14.30	2.90	4.10	63.40
	91.00	15.20	16.00	1.80	3.80	63.20
	91.00	15.00	15.60	0.90	3.50	65.00
Zahari *et al.* (2003)	-	17.20	17.10	1.50	4.30	-

หมายเหตุ : - ไม่มีข้อมูล

Slominski *et al.* (2006) รายงานผลการเสริมเอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับ 340 ยูนิตต่อกรัม ลงในเมล็ดลินิน (flax seed) สามารถย่อย NSP ในเมล็ดลินินได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสังเกตจากค่าของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ และค่า NSP ที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ โดยปริมาณ NSP ลดลง 22.07 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับการทดลองของ Meng *et al.* (2005) พบว่า

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การเสริมเอนไซม์เซลลูเลส ที่ระดับ 340 ยูนิตต่อกรัม สามารถย่อย NSP ของเมล็ดข้าวสาลี เมล็ดคาโนล่า กากถั่วเหลือง และถั่วลิสง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งดูจากค่าของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ และค่า NSP ของเมล็ดธัญพืชที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ โดยปริมาณ NSP ของเมล็ดข้าวสาลีลดลง 34.66 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดคาโนล่าลดลง 11.76 เปอร์เซ็นต์ และถั่วลิสงลดลง 10.43 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุในการปลดปล่อยน้ำตาล เกิดจากการที่เอนไซม์เข้าไปทำหน้าที่ในการย่อย NSP หรือเรียกอีกอย่างว่าเยื่อใย ทำให้โครงสร้างของเยื่อใยเกิดการสลายตัวจึงปลดปล่อยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวออกมา คือน้ำตาลกลูโคส (Malathi and Devegowda, 2001)

2.3.4. การใช้เอนไซม์และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารสัตว์

ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวนั้นไม่สามารถย่อยอาหารเยื่อใยได้ โดยอาศัยน้ำย่อยอาหารของสัตว์ได้เอง ดั้งนั้น จึงมีการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยในการย่อยอาหารเยื่อใย เนื่องจากอาหารเยื่อใยสูงมีผลในการยับยั้งการดูดซึมของกรดเกลือและน้ำดีในระบบย่อยอาหาร (นิวัติ, 2531) ซึ่งโดยทั่วไปในไก่เนื้อสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต (Sandu *et al.*, 2006(a))จากรายงานการศึกษาของ Sundu and Dingle (2003) พบว่าการเสริมเอนไซม์ทำให้คุณค่าทางโภชนะของ PKM ดีขึ้น คือควรเสริมเอนไซม์รวม แมนเนส แอลฟา-กาแลกทูซิเดส และเซลลูเลส เพื่อมาย่อย แมนแนน เซลลูโลส และสายของกาแลกทูซิดิก ของ PKM เพราะใน PKM มีทั้งเซลลูโลสและแมนแนนที่เกาะกันอยู่ ดังนั้นถ้าเสริมเอนไซม์เซลลูเลสเพียงตัวเดียวจะสามารถย่อยสลายโครงสร้างของเซลลูโลสได้ แต่ไม่สามารถย่อยสลายโครงสร้างของแมนแนนได้ จึงแนะนำให้ใช้เอนไซม์รวมในการย่อย PKM พบว่าเมื่อเสริมเอนไซม์รวมสามารถเพิ่มการย่อยได้ของ PKM จาก 46 - 54 เปอร์เซ็นต์ เป็น 54 - 67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมเอนไซม์เซลลูเลสเพียงตัวเดียว สอดคล้องกับการทดลองของ Bothell (2001) และ Boateng *et al.* (2008) รายงานว่าควรมีการเสริมเอนไซม์แมนเนสลงใน PKM เพื่อย่อยแมนแนน (mannan) เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ของ PKM ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดย Bothell (2001) พบว่าเมื่อเสริมเอนไซม์แมนเนสลงใน PKM มีผลทำให้ NDF (ผนังเซลล์) ลดลง 73.72 เปอร์เซ็นต์ ADF (ลิกโนเซลลูโลส คือ ลิกนินรวมกับเซลลูโลส) ลดลง มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส มีค่าลดลง 19.66 เปอร์เซ็นต์ และ Sae - Lee (2007) รายงานผลการเสริมเอนไซม์ แมนเนส เซลลูเลส และไซแลนเนส หมักใน PKM พบว่าเอนไซม์ทั้งสามตัวนี้สามารถลดระดับของ NSP ได้ โดยสังเกตจากการลดลงของแมนแนน ที่เป็นส่วนประกอบหลักของ NSP ใน PKM ถึง 78 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้โดย

นอกจากนี้ยังมีการทดลองของ Sundu *et al.* (2006(b)) พบว่าการเพิ่มระดับการใช้กากเนื้อมะพร้าว (0 10 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์)ที่สูงขึ้นในสูตรอาหารไก่กระทง มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานการใช้

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประโยชน์ได้ ยิ่งลดลง ($P<0.05$) และการเสริมเอนไซม์ทางการค้า ทั้ง 3 ชนิด คือ Hemicell, Allzyme SSF และ เอนไซม์รวม (Hemicell + Allzyme SSF +Gamanase) ในระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ ของทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ดีกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์ ($P<0.05$) ซึ่งผลการทดลองขัดแย้งกับการทดลองของ Sandu *et al.*(2006) รายงานผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมทางการค้า (Roxazyme G) และเอนไซม์เซลลูเลสผสมเอนไซม์ไซลาเนส ในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของถั่วอัลฟัลฟา 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่มีผลในการปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร($P>0.05$) ในไก่เนื้อระยะอายุ 35 -60 วัน และ Lyayi and Davies (2005) ได้ศึกษาการเสริมเอนไซม์ทางการค้าชื่อ Avizyme® ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ไซลาเนส (xylanase) โปรติเอส (protease) และ อะไมเลส (amylase) ในสูตรอาหารไก่เนื้อที่มีกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอาหารสูตรควบคุม ผลการทดลองรายงานว่า ในช่วงระยะเริ่มต้น อายุ 0 – 4 สัปดาห์ ไก่ที่ได้รับอาหารสูตรกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันเสริมเอนไซม์ Avizyme มีปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกันกับไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ($P>0.05$) เมื่อถึงระยะสิ้นสุด (ระยะอายุ 5-8สัปดาห์) พบว่า ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ เสริมเอนไซม์ Avizyme มีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนอัตราการแลกเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่กลุ่มที่ได้รับกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน 30 เปอร์เซ็นต์ เสริมเอนไซม์ Avizyme กับไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง