บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน

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

2.2 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) (FAO, 1988; Chin, 2001) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชสำหรับหีบเอาน้ำมันปาล์ม และจะได้กากปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้ในขบวนการผลิต (ศยามล และคณะ, 2548 ; FAO, 1988) จะมีผลพลอยได้ 5 ชนิด (ภาพที่ 1) 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

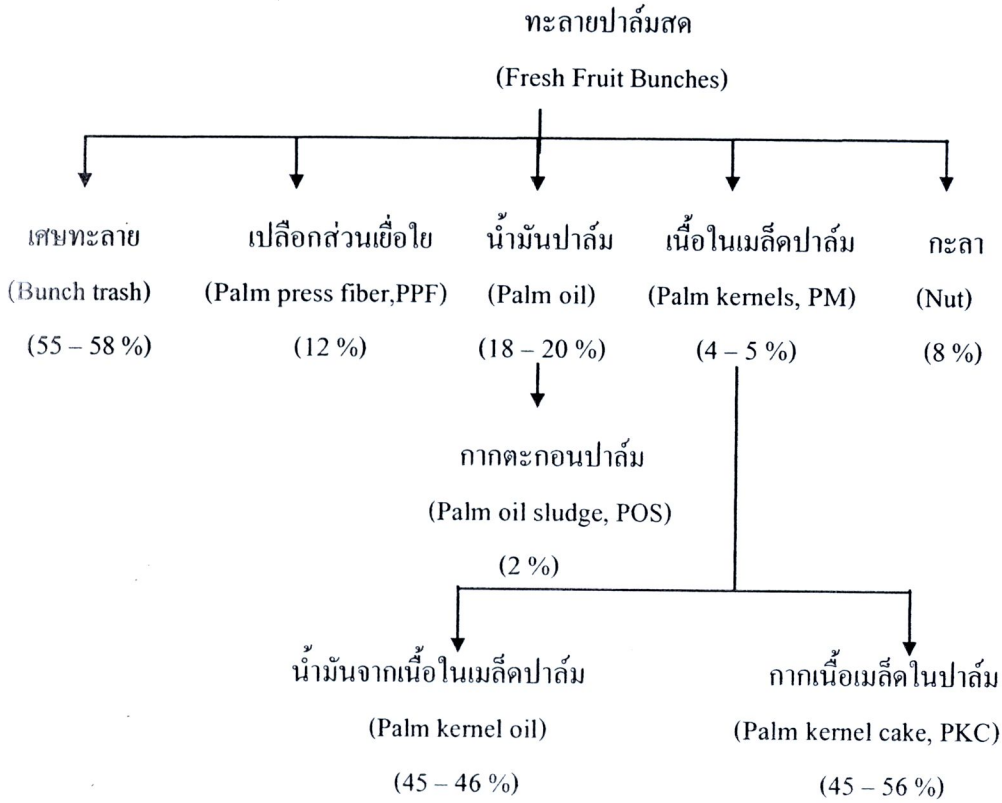
3. กากเนื้อเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel meal, PKM) เป็นกากปาล์มที่เอาเฉพาะเนื้อในมาผ่านขบวนการสกัดน้ำมัน เป็นกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันพืชที่มีขนาดใหญ่มีขบวนการผลิตแยกส่วนซึ่ง มีความแตกต่างทางกายภาพกับกากปาล์มชนิดอื่นอย่างชัดเจน และประกอบด้วยส่วนของเนื้อเป็นส่วนมาก ชิ้นส่วนของกะลาปาล์มพบว่ามีปะปนเพียงเล็กน้อย

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. กากผลปาล์มน้ำมัน (Oil palm meal, PM) ประกอบด้วยเปลือกนอก (Husk) กะลา (Nut shell) และเนื้อในของเมล็ด (Palm kernel) (จินดา, 2548) 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 (มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2552)



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
ที่มา : FAO (1988)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.3 ข้อจำกัดในการใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันประกอบด้วยส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายได้แก่แป้งและน้ำตาล (mono-, disaccharide) นอกจากนี้ยังมีส่วนของเยื่อใยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch carbohydrate, NSC) หรือเยื่อใย ได้แก่ Non-starch polysaccharide (NSP) และ Oligosaccharide อื่นๆ ซึ่งในสัตว์ปีกไม่มีเอนไซม์ในการย่อยเยื่อใยเหล่านี้ (Choct and Kocker,2000) และใน PKM มีส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยอยู่สูงประมาณ 41-46 เปอร์เซ็นต์ (ศยามล และคณะ, 2548) ทำให้ไม่สามารถใช้ในสูตรอาหารสัตว์ปีกในระดับสูงได้ เพราะจะทำให้อาหารมีลักษณะฟ่าม ทำให้อัตราการกินได้ของสัตว์ลดลง และมีการย่อยได้ต่ำมากหรืออาจย่อยไม่ได้เลย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสัตว์ (กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์, 2553; Sundu and Dingle, 2003; Dairo and Fasuyi, 2008)

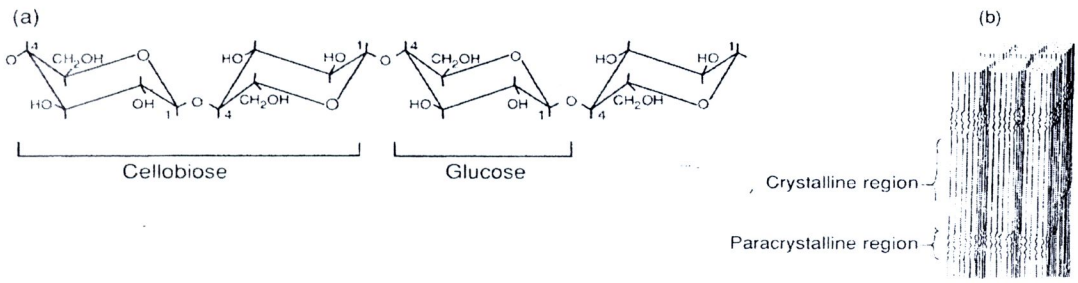
ส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acids, VFA) และดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในไก่การย่อยโดยจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความสามารถในการย่อยได้ของ NSC ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของตัวสัตว์ โครงสร้างทางเคมีของ NSC ความสามารถในการละลายน้ำ และปริมาณของ NSC ในอาหาร (Choct and Kocker,2000; บุญล้อม, 2546) NSC แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดนอกเหนือจากกลูโคสจับกันด้วยพันธะ β-1,3 และ β-1,4 glycosidic โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ 1) เซลลูโลส (cellulose) ไม่ละลายในน้ำ ในด่าง หรือ กรดอ่อน (ภาพที่ 2) 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 (Morz *et al.*, 2000; บุญล้อม, 2546; สุวรรณา, 2548) 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 (Choct and Kocker, 2000; บุญล้อม, 2546; สุวรรณา, 2548)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วย monosaccharide 2-15 หน่วยต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก เช่น ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharide, FOS) กาแลกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galacto-oligosaccharide, GOS) หรือ แมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (manno-oligosaccharide, MOS) (สุวรรณา, 2548) สุกรสามารถย่อยโอลิโกแซ็กคาไรด์ในลำไส้เล็กเพียง 40-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไก่ย่อยได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือจะถูกย่อยต่อในลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ใน ลำไส้เล็ก จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เช่น แลคโตแบซิลัส (*Lactobacillus spp.*) และไบฟีโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium spp.*) แต่ขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ เช่น อีโคไล (*E.* coli) คลอสตริเดียม (*clostridium*) และโคลิฟอร์ม (*Coliforms*) เป็นต้น มีผลกระตุ้นภูมิคุ้มกันของสัตว์ (Choct and Kocker, 2000) ทำให้สัตว์มีสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโอลิโกแซ็กคาไรด์และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้นี้ ถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เกิดเป็นกรดไขมันระเหยได้และกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids, SCFA) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลผลิตที่ได้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการเมตาบอลิสม เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและใช้คาร์บอนอะตอมที่ได้จากการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรตเป็นโครงคาร์บอน (C-skeletal) ในการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ (สุวรรณา, 2548) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะทำให้ pH ในลำไส้ลดลง ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ แต่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (บุญล้อม, 2546)

เนื่องจาก NSP มีสูตรโครงสร้างและการละลายหลากหลาย เอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถย่อยสลาย NPS ได้ ดังนั้นในการใช้ประโยชน์วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงจะต้องอาศัยเอนไซม์ที่จำเพาะในการย่อยโครงสร้างต่างๆเหล่านี้ (Sundu and Dingle, 2003; Lyayi and Davies, 2005; Khandeparker and Numan, 2008; Sekoni *et al.*, 2008) โดยเอนไซม์สามารถย่อยองค์ประกอบของเยื่อใยทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ออกมาเป็นน้ำตาล ดังนั้นเอนไซม์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการย่อยองค์ประกอบของโครงสร้างเยื่อใย (Sheppy, 2001; Lyayi and Davies, 2005)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของเซลลูโลส (a) โครงสร้างของ cellobiose และ glucose (b)โครงสร้างของ cellulose microfibrils ประกอบด้วย Crystalline region และ Paracrystalline region

ที่มา: Bhat and Hazlewood (2001)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.4 เอนไซม์ (Enzyme)

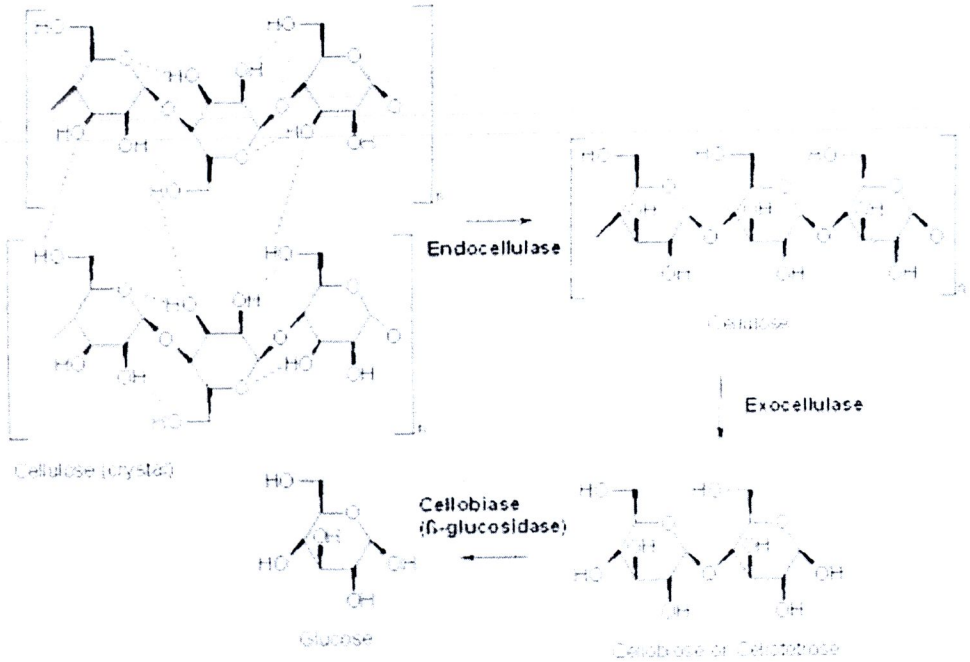
เอนไซม์ (Enzyme) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ เป็นสารประกอบพวกโปรตีน โดยเอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่ทำปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ซับสเตรต (Substrate) และสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ไม่เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์อื่น (ปราณี, 2547)

เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase)

คุณสมบัติทั่วไปของเอนไซม์เซลลูเลสคือ มีมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ย 63,000 มีค่า pH 5.5 – 6.0 มีความเสถียรที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียลนาน 5 นาที ที่ pH 7.0 จะถูกยับยั้งด้วยไอออนของโลหะหนัก สารพวกซัลไฟดริล สารทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน (ปราณี, 2547)

เอนไซม์เซลลูโลสมีชื่อที่เป็นระบบคือ 1, 4 - (1, 3 ; 1, 4) – β – D - glucan 4 – glucanohydrolase (Marquardt, 1997) เอนไซม์เซลลูเลสประกอบด้วย Endoglucanase (Endo -1, 4 - β - D - glucanohydrolase) Exoglucanase หรือ cellobiohydrolase (Exo - 1, 4 - β – D - glucan cellubiohydrolase) และ β - glucosidase หรือ cellobiase (β – D - glucosidase) เอนไซม์ต่างๆเหล่านี้จะทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลส ทำให้โครงสร้างของเยื่อใยแตกออกมีขนาดเล็กลง เกิดการปลดปล่อยน้ำตาลได้มากขึ้น ทำให้เพิ่มการย่อยได้ภายในลำไส้ของไก่ ในการทำงานของเอนไซม์เพื่อย่อยสลายเซลลูโลส โดยเบื้องต้นเอนไซม์ Endocellulase ทำลายพันธะกิ่งก้านสาขา (β-1,4-glycosidic bond) ของโครงสร้างเซลลูโลส (crystalline cellulose) ทั้งในส่วนของอสัณฐาน (amorphous หรือ paracystalline region) และส่วนที่เป็นผลึก (cystalline region) ได้เป็น celluloses ที่เป็นเส้นตรง จากนั้นเอนไซม์ Exocellulose ก็จะสลายพันธะ β-1,4 linkages ของ cellulose ได้เป็นน้ำตาลสองโมเลกุล (cellobiose) และน้ำตาลสี่โมเลกุล (cellotetrose) และสุดท้ายเอนไซม์ β – Glucosidase จะทำการสลายน้ำตาลสองโมเลกุลและน้ำตาลสี่โมเลกุล กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว คือ น้ำตาลกลูโคส ดังภาพที่ 3 (Bhat and Hazlewood, 2001)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาพที่ 3 กลไกการปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคส

ที่มา : นิรนาม (2552)

2.5 คุณค่าทางอาหารของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

FAO (1988) รายงานว่า PKM ที่ผ่านกรรมวิธีการสกัดแตกต่างกันจะมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยการสกัดด้วยสารเคมี (Solvent extracted type) จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ได้ต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน (Expeller pressed type) ดังนั้น PKM ที่ได้มาจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมีจึงมีคุณภาพดีกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ซึ่งสอดคล้องกับ จินดา (2548); Chin (2001); Alimon (2004); Sundu and Dingle (2003) และ Boateng et al. (2008) พบว่าการสกัดPKM ด้วยสารเคมี มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำกว่าวิธีการหีบน้ำมัน ปริมาณไขมันของ PKM ที่เหลือจากวิธีการสกัดด้วยสารเคมี มีค่าประมาณอยู่ในช่วง 0.5 - 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไขมันเหลือจากวิธีการหีบน้ำมันอยู่ในช่วงประมาณ 4 – 9 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันได้จากวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดปาล์มน้ำมันด้วยการใช้สารเคมีกับการสกัดด้วยวิธีการหีบน้ำมัน

	แหล่งที่มาของข้อมูล				
วิธีการสกัดน้ำมัน	จินดา (2548)	Chin (2001)	Alimon (2004)	Sundu and Dingle (2003)	Boateng et al. (2008)
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

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แต่อย่างไรก็ตาม PKM จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังไม่พบสารพิษ Aflatoxin ใน PKM (Oluwafemi, 2009; Sue, 2004) 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 จินดา (2548); Chin (2001); Wing Keong (2004); Dairo and Fasuyi (2008) และ Sue (2004) ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ Chin (2001) รายงานว่า PKM ที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยการใช้สารเคมี มีเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง 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 ตามลำดับ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับ จินดา (2548) และ Zahari et al. (2003) ที่มีคุณค่าอาหารใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2

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 ดังตารางที่ 3 และสอดคล้องกับการทดลองของ Meng et al. (2005) พบว่าการเสริมเอนไซม์เซลลูเลส 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) ดังตารางที่ 4

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของน้ำตาลและปริมาณ NSP ของเมล็ดลินินที่มีการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์เซลลูเลส

เมล็ดลินิน	ส่วนประกอบของน้ำตาล (กรัมต่อกิโลกรัม)						
	แรมโนส	อลาบิโนส	ไซโลส	กาแลกโตส	กลูโคส	กรดยูโรนิก	ผลรวมของ NSP
ไม่เสริมเอนไซม์	15.10	27.00[a]	57.30[a]	27.00[a]	80.10[a]	62.70[a]	271[a]
เสริมเอนไซม์	15.60	21.90[b]	48.20[b]	22.50[b]	57.80[b]	54.20[b]	222[b]

[a-b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

ที่มา : Slominski et al. (2006)

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของน้ำตาลและปริมาณ NSP ของเมล็ดข้าวสาลี เมล็ดคาโนล่า กากถั่วเหลือง และเมล็ดถั่วลิสง ที่มีการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์เซลลูเลส

เมล็ดธัญพืช	ส่วนประกอบของน้ำตาล (กรัมต่อกิโลกรัม)						
	อลาบิโนส	ไซโลส	แมนโนส	กาแลกโตส	กลูโคส	กรดยูโรนิก	ผลรวมของ NSP
เมล็ดข้าวสาลี							
ไม่เสริมเอนไซม์	19.90[a]	24.70[a]	3.60	3.40	36.20[a]	-	87.80[a]
เสริมเอนไซม์	12.20[b]	15.90[b]	2.80	3.20	31.10[b]	-	65.20[b]
เมล็ดคาโนล่า							
ไม่เสริมเอนไซม์	31.50[a]	15.40[a]	4.20	14.20	53.50[a]	47.00	171.00[a]
เสริมเอนไซม์	27.80[b]	13.80[b]	3.80	14.10	41.40[b]	46.90	153.00[b]
กากถั่วเหลือง							
ไม่เสริมเอนไซม์	20.20[a]	12.00[a]	5.60	44.00	34.90[a]	27.90	148.00
เสริมเอนไซม์	17.30[b]	10.50[b]	5.20	44.10	31.50[b]	27.40	139.00
เมล็ดถั่วลิสง							
ไม่เสริมเอนไซม์	16.80[a]	8.60	2.50	5.00	70.30[a]	20.50	127.00[a]
เสริมเอนไซม์	13.50[b]	7.80	2.40	5.00	63.10[b]	20.00	115.00[b]

[a-b] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวคอลัมน์เดียวกันมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

- ไม่มีข้อมูล

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Meng et al. (2005)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.6 การใช้เอนไซม์และกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันในอาหารไก่

ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวนั้นไม่สามารถย่อยอาหารเยื่อใยได้ โดยอาศัยน้ำย่อยอาหารของสัตว์ได้เอง ดั้งนั้น จึงมีการเสริมเอนไซม์เพื่อช่วยในการย่อยอาหารเยื่อใย เนื่องจากอาหารเยื่อใยสูงมีผลในการยับยั้งการดูดซึมของกรดเกลือและน้ำดีในระบบย่อยอาหาร (นิวัติ, 2531) ซึ่งโดยทั่วไปในไก่เนื้อสามารถใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต (Sandu *et al.*, 2006) จากรายงานการศึกษาของ Sundu and Dingle (2003) พบว่าการเสริมเอนไซม์ทำให้คุณค่าทางโภชนะของ PKM ดีขึ้น คือควรเสริมเอนไซม์รวม แมนเนส แอลฟา - กาแลกทูซิเดส และ เซลลูเลส 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) พบว่าการเพิ่มระดับการใช้กากเนื้อมะพร้าว (0 10 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์)ที่สูงขึ้นในสูตรอาหารไก่กระทง มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโภชนะ และพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ 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 Ponte *et al.*(2004) รายงานผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยรวมทางการค้า (Roxazyme G) และเอนไซม์เซลลูเลสผสมเอนไซม์ไซลาเนส ในสูตรอาหารที่มีส่วนประกอบของถั่วอัลฟัลฟา 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่มีผลในการปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร($P>0.05$) ในไก่เนื้อระยะอายุ 35 -60 วัน และ Lyayi and Davies

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(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 ($P>0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 27 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 245586
เลขเรียกหนังสือ

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง