บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในอาหารปลา ซึ่งผลผลิตของโลกร้อยละ 12 หรือประมาณ 62 ล้านตันถูกนำมาใช้เพื่อการนี้ ทำให้ปริมาณปลาป่นที่ผลิตได้ทั่วโลกมีแนวโน้มลดลง (FAO, 1994) จึงเป็นเหตุให้มีการนำโปรตีนจากแหล่งอื่นที่หาได้ง่ายและราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทน เช่นการใช้โปรตีนจากพืชเสริมในอาหารปลานิล (tilapia, *Oreochromis niloticus*) (Shiau *et al*., 1987, 1990) ปลาไน (common carp, *Cyprinus carpio*) (Wee and shu, 1989) และปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) (Robinson and Li, 1994) เป็นต้น ถึงแม้ว่าวัตถุดิบพืชจะเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูก แต่การนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นบางส่วนหรือทั้งหมดในสูตรอาหารอาจทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง โดยพบว่าปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้วัตถุดิบพืชได้แตกต่างกัน ขึ้นกับคุณค่าทางอาหารและสารต้านโภชนาการ (anti - nutritional factor) ที่มีในวัตถุดิบพืชแต่ละชนิด

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ กินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ และยังสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดีอีกด้วย (กรมประมง, 2541) วีรพงศ์ (2536); Shiau และ Peng (1993) รายงานว่าปลาที่ได้รับคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าความต้องการจะนำเอาโปรตีนหรือไขมันที่สะสมในร่างกายไปเผาผลาญให้เกิดเป็นพลังงาน ทำให้ปลาผอม หรืออาจนำเอาโปรตีนในอาหารมาเผาผลาญให้เกิดพลังงานแทนที่จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตอย่างเดียว ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตช้าลง ดังนั้นบทบาทและหน้าที่ของคาร์โบไฮเดรตต่อการผลิตอาหารปลาจึงมีความสำคัญอย่างมาก เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูกที่สุด จึงมีการศึกษาการทดแทนโปรตีนจากปลาป่นบางส่วนด้วยวัตถุดิบพืช (protein sparing action) โดยการลดโปรตีนในสูตรอาหารลงบางส่วนแล้วเพิ่มคาร์โบไฮเดรตเข้าไป โดยทำให้การเจริญเติบโตของปลาดีขึ้น แนวทางดังกล่าวทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง ดังนั้นการศึกษาถึงชนิดและระดับของวัตถุดิบพืชที่นำมาใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตเพื่อทดแทนโปรตีนจากสัตว์ เพื่อที่จะให้ทราบถึงชนิดของวัตถุดิบพืชที่เหมาะสม และปริมาณสูงสุดที่สามารถเสริมในอาหารปลานิลโดยทำให้การเจริญเติบโตของปลาอยู่ในเกณฑ์ดี และสามารถลดต้นทุนในการผลิตอาหารปลาจึงเป็นสิ่งจำ

เป็น และเป็นที่มาของการศึกษานี้ การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของวัตถุดิบพืชที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก 5 ชนิด คือ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน กากมะพร้าว ข้าวโพด รำละเอียด และมันสำปะหลังป่น โดยต้องการหาแหล่งที่ดีที่สุด จากนั้นจึงทำการทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของวัตถุดิบพืชนั้น ผลที่ได้รับจากการทดลองนี้ คาดว่าจะสามารถทราบถึงชนิดของวัตถุดิบพืชที่เหมาะสม และปริมาณสูงสุดที่สามารถเสริมในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศโดยทำให้การเจริญเติบโตของปลาอยู่ในเกณฑ์ดี และสามารถลดต้นทุนในการผลิตอาหารปลา

ตรวจเอกสาร

1. ปลานิล

1.1 ชีววิทยาของปลานิล

อนุกรมวิธานของปลานิล

Phylum Vertebrata

Class Osteichthyes

Order Perciformes

Family Cichlidae

Genus *Oreochromis*

Species *niloticus*

ปลานิลเป็นปลาพื้นเมืองของแอฟริกาและลุ่มแม่น้ำจอร์แดน พบทั่วไปตามหนอง บึง ทะเลสาบของประเทศซูดาน ยูกันดาและทันกันยิกา ทวีปอเมริกากลางและใต้ จัดเป็นปลาที่นิยมรับประทานทั้งในแอฟริกาเหนือและอิสราเอล แต่เนื่องจากสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ดี จึงพบแพร่กระจายทั่วไปทุกภูมิภาคของโลก ปลานิลเป็นปลาที่ชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ ที่เป็นแหล่งน้ำจืด แต่สามารถนำไปเลี้ยงในบริเวณที่เป็นน้ำกร่อยได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ในวงกว้าง คือตั้งแต่ 8-42 องศาเซลเซียส (Philippart and Ruwet, 1982) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของน้ำและความเค็มได้ดี โดยเมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะพบการตาย 10 % และเมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่

ในช่วง 4.5-5.5 อัตราการตายจะเพิ่มขึ้นเป็น 70 % และจะตายหมดเมื่อน้ำมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 3.5-4.5 สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ปลานิลสามารถอยู่ได้อย่างปกติในน้ำที่มีความเค็มสูงถึง 20 ส่วนในพันส่วน (ppt) กินอาหารทั้งบนผิวน้ำ กลางน้ำและก้นบ่อ เป็นปลาที่มีนิสัยชอบกินอาหารในเวลากลางวัน ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนตก ในเวลากลางคืนจะหยุดกินอาหาร ปลานิลกินอาหารได้ทุกชนิด จัดเป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์ (omnivores) (Philippart and Ruwet, 1982) ซากอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่เน่าเปื่อย รวมทั้งแบคทีเรียและพืชน้ำชนิดต่างๆ (Bowen, 1982) อาหารจะถูกบดให้มีขนาดเล็กลงโดยฟันในคอหอย (pharyngeal teeth) และส่งไปยังกระเพาะอาหารตอนต้น ซึ่งมีความพิเศษตรงที่น้ำย่อยของปลาชนิดนี้มีความเป็นกรดมากอาจต่ำกว่า 1.5 (Moriarty, 1973) ซึ่งสามารถย่อยแพลงค์ตอนพืชและสิ่งเน่าเปื่อยได้ดี ปลานิลไม่มีกระเพาะแท้เหมือนปลากินเนื้อทั่วไป แต่มีเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างคล้ายกระเพาะที่สามารถหลั่งน้ำย่อย เพื่อลดความเป็นกรดด่างระหว่างการย่อยได้ มีทางเดินอาหารยาวประมาณ 5-7 เท่าของลำตัว ทำให้มีประโยชน์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและดูดซึมอาหารรวมทั้งเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์บางชนิดที่ช่วยสังเคราะห์สารอาหาร

ปลานิลจัดเป็นปลาที่อยู่ในวงศ์เดียวกับปลาหมอเทศมีริมฝีปากบนและล่างเสมอกันมีฟันบริเวณขากรรไกรและคอหอยหลายขนาด ตั้งแต่ค่อนข้างหยาบจนถึงละเอียด บริเวณกระดูกเหงือก (gill arch) มีซี่กรอง 15-27 อัน บริเวณแก้มมีเกล็ดทั้งหมด 4 แถว โดยเกล็ด 3 แถวแรกอยู่บริเวณแก้มและอีกหนึ่งแถวอยู่เหนือเส้นข้างลำตัวเล็กน้อย ลำตัวมีสีน้ำตาลมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้นและครีบหางมีจุดขาวและเส้นสีดำตัดขวาง ครีบหลังมีอันเดียวประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 15-18 อัน และก้านครีบอ่อน 12-14 อัน ครีบก้นมีก้านครีบแข็ง 3 อัน และก้านครีบอ่อน 9-10 อัน บนแถบเส้นข้างลำตัวมีเกล็ด 33 เกล็ด ทางด้านข้างมีเกล็ดตามแนวเฉียงจากตอนต้นของครีบหลังลงมาถึงเส้นข้างลำตัว 5 เกล็ด และจากเส้นข้างลำตัวลงมาถึงส่วนหน้าของครีบก้น 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลตรงกลางมีเกล็ดสีเข้ม ที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้มหนึ่งจุด (มานพ และคณะ, 2536) ความแตกต่างระหว่างเพศปลาอาจสังเกตได้จากลักษณะสีใต้คาง ในกรณีที่ปลาเพศผู้จะมีสีแดงหรือสีชมพู ส่วนในปลาเพศเมียใต้คางจะมีสีเหลือง แต่ลักษณะสีใต้คางที่ปรากฏนี้ไม่สามารถแยกเพศได้ชัดเจน ส่วนการสังเกตจากลักษณะติ่งเพศสามารถจำแนกเพศปลาได้แม่นยำกว่า โดยปลาเพศผู้ลักษณะติ่งเพศจะยาวเรียวปลายแหลม และมีช่องเปิดที่ปลายติ่งเพียงช่องเดียวซึ่งเป็นทางออกของปัสสาวะและน้ำเชื้อ ส่วนปลาเพศเมียติ่งเพศจะมีลักษณะปลายมนช่องเปิดบนติ่งเพศมีสองช่อง คือ ช่องเปิดที่ปลายติ่งเป็นทางออกของปัสสาวะ ส่วนช่องเปิดตามขวางบริเวณกึ่งกลางของติ่งเป็นช่องออกของไข่ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดในปลาที่มีความยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป (อุทัยรัตน์, 2529)

ปลานิลได้ถูกนำเข้ามาเพาะเลี้ยงในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2508 โดยเจ้าฟ้าอากิฮิโตมกุฏราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ได้ทรงนำปลานิลจำนวน 50 ตัว ขึ้นทูลเกล้าฯ ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2508 และได้ทรงโปรดเกล้าฯ ให้เลี้ยงไว้ในบ่อดินขนาด 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดา พระราชวังสวนดุสิต และโปรดเกล้าพระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า “ปลานิล” อีก 1 ปี ต่อมาได้ทรงพระราชทานลูกปลาขนาดเล็กที่เกิดจากพ่อแม่ที่เลี้ยงไว้แก่กรมประมง เพื่อนำไปเลี้ยงและเพาะขยายพันธุ์ กรมประมงได้ส่งเสริมให้ประชาชนเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยการเพาะพันธุ์จำหน่ายและแจกพันธุ์ปลาให้แก่เกษตรกร จากการเพาะพันธุ์ปลานิลในระยะหลัง ปรากฏว่ามีลูกปลานิลจำนวนหนึ่งมีสีสันผิดไปจากเดิมอย่างเด่นชัด กล่าวคือ สีของลำตัว ซึ่งปกติเป็นสีเขียวปนน้ำตาลดำ ได้เปลี่ยนเป็นสีขาวอมชมพู เหลือง ส้ม หรือแดง อุบัติการณ์ดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นการผ่าเหล่า (mutant) ซึ่งพบครั้งแรกที่สถานีประมงจังหวัดอุบลราชธานี เมื่อ ปี พ.ศ. 2511 โดยพบปะปนอยู่ในบ่อเลี้ยงปลานิล มีลักษณะคล้ายคลึงกับปลานิลมาก ต่างกันตรงที่สีของลำตัว กล่าวคือในปลานิลธรรมดามีเม็ดสีดำ(melanin pigments) แต่ในปลาที่พบใหม่นี้มีเม็ดสีหลายชนิดเช่น สีแดง สีส้ม สีส้มเหลือง และ สีส้มแดง แต่บางตัวอาจมีเม็ดสีดำปนอยู่บ้างซึ่งกระจายอยู่ทั่วลำตัว และมีจุดสีแดงหรือสีส้มเรียงกันเป็นแถวจึงทำให้เห็นเป็นแถบสีส้มอยู่กระจาย ซึ่งจะมีความต่างกับปลานิลที่มีลำตัวสีเขียว หรือเขียวเทาปนน้ำเงิน ลักษณะที่มีความแตกต่างกันที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ ในช่องท้องของปลานิลสีแดงจะมีปริมาณไขมันต่างกับปลานิล และสีบริเวณผนังช่องท้องของปลานิลสีแดงมีสีขาว เนื่องจากไม่มีเม็ดสีดำส่วนในปลานิลผนังช่องท้องจะมีสีดำเนื่องจากมีเม็ดสีดังกล่าวปะปนอยู่ และในปี พ.ศ. 2527 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้ทรงพระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า “ปลานิลสีแดง” แต่มักจะเรียกกันทั่วๆ ไปว่า “ปลานิลแดง” (พรรณศรี, 2531)

จากการศึกษาถึงประวัติความเป็นมาของปลาในตระกูลปลานิลที่เลี้ยงอยู่ในประเทศไทยกับการศึกษาถึงลักษณะภายนอกของปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบัน และจากการตรวจสอบโดยวิธีอีเลคโตรโฟรีซีส (electrophoresis) โดยมหาวิทยาลัยสเตอร์ลิงประเทศอังกฤษและมหาวิทยาลัยฟิลิปปินส์ประเทศฟิลิปปินส์ สรุปได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบันเป็นลูกผสมระหว่างปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus*) โดยมีความถี่ของยีนส์ปลานิล 78 % และปลาหมอเทศ 22 % จะเห็นได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยมีลักษณะของปลานิลและปลาหมอเทศรวมกัน กล่าวคือ ปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล (พรรณศรี, 2531) จำนวนก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อน และสัดส่วนบนลำตัวของปลาทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ปลานิลสีแดงมีลำตัวสีแดง ส้ม แดงส้ม ชมพู หรือขาว บางตัวมีเกล็ดสีแดงและสีเงินเป็นหย่อมๆ ปลานิลสีแดงมีเกล็ด 3 แถว ที่บริเวณแก้ม ครีบ

หลังมีอันเดียว ประกอบด้วยก้านครีบอ่อน 12-13 อัน ก้านครีบแข็ง 15-17 อัน ครีบอก มีเฉพาะก้านครีบอ่อน 13 อัน ครีบท้องมีก้านครีบอ่อน 5 อัน ก้านครีบแข็ง 1 อัน ครีบก้น มีก้านครีบอ่อน 9-11 อัน ก้านครีบแข็ง 3 อัน และครีบหางมีก้านครีบอ่อน 16-18 อัน จำนวนเกล็ดบนเส้นข้างลำตัว 28-33 เกล็ด และเกล็ดรอบคอดหาง 18-19 เกล็ด ปลานิลสีแดงเป็นปลาที่มีนิสัยก้าวร้าว เป็นทั้งปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ เช่นเดียวกับปลานิลธรรมดา แต่ค่อนข้างจะชอบกินสัตว์มากว่า คือ ปลานิลสีแดงจะกินปลาอื่นที่มีขนาดเล็กกว่า พ่อแม่ปลาบางครั้งก็จะกินลูกปลาซึ่งลักษณะพฤติกรรมเช่นนี้ไม่ปรากฏในปลานิลธรรมดา มีการผสมพันธุ์และวางไข่เหมือนกับปลานิลธรรมดา คือ สามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ปีละประมาณ 3-4 ครั้ง ตัวเมียจะเริ่มวางไข่เมื่อมีความยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 200 - 250 กรัมจะให้ลูกรุ่นละ 500 - 1000 ตัว (มานพ และคณะ, 2527; พรรณศรี, 2531)

1.2 ปลานิลแปลงเพศ

ปัจจุบันการเลี้ยงปลานิลในเชิงพาณิชย์มักนิยมเลี้ยงเฉพาะเพศผู้ เนื่องจากการเลี้ยงร่วมกันระหว่างเพศผู้และเพศเมีย มักจะมีปัญหาความหนาแน่นของลูกปลาและขนาดปลาเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต เพราะปลานิลเพศเมียสามารถสืบพันธุ์วางไข่ได้ตั้งแต่อายุ 2 เดือน ทำให้มีลูกปลาหนาแน่นในบ่อ อีกทั้งปลานิลเพศเมียต้องสูญเสียพลังงานไปในการสร้างไข่และอนุบาลลูกปลาโดยการอมไว้ในปากเป็นเวลาประมาณ 10 วัน จึงทำให้แม่ปลาไม่ได้กินอาหารทำให้น้ำหนักลด ซึ่งแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงให้ได้ปลาที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกันเมื่อจับขาย คือการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมดโดย คีรี (2543) กล่าวถึงการจัดเตรียมลูกปลาเพศผู้ ซึ่งมีหลายวิธีคือ

1. การคัดเลือกโดยดูจากลักษณะเพศภายนอก (manual sexing) วิธีการนี้ไม่เป็นที่นิยม เพราะผู้คัดเลือกต้องมีความชำนาญและจำนวนปลาต้องมากพอ เนื่องจากสภาพปกติอัตราส่วนของปลาเพศผู้และเพศเมียจะมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน อีกทั้งขนาดปลาที่สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างเพศได้ชัดเจน จะต้องมีขนาดความยาวตั้งแต่ 12 เซนติเมตรและมีน้ำหนัก 50 กรัมขึ้นไป

2. การผสมข้ามสายพันธุ์ (hybridization) การใช้วิธีการผสมข้ามพันธุ์ ทั้งข้ามสกุล (genus) และชนิด (species) ในปลาบางชนิด สามารถเกิดลูกทั้งหมดเป็นเพศเดียวกันได้ สำหรับปลานิล การผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่าง *O. niloticus* X *O. aureus* จะได้ลูกพันธุ์ที่มีเพศผู้ 100 % จากการปฏิบัติในประเทศอิสราเอล

3. การใช้ฮอร์โมนเพศ การแปลงเพศปลาโดยให้กินอาหารผสมฮอร์โมน 17–เมทธิลเทสโทสเตอร์โรน (17-methyltestosterone หรือ 17-MT) ความเข้มข้น 40-60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลานาน 28-30 วัน แต่ขั้นตอนการผลิตลูกปลาแปลงเพศเหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยาก

ต้องมีความรู้ความชำนาญเพียงพอ อีกทั้งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ผลิตลูกพันธุ์ปลา นอกจากนั้น ฮอร์โมน 17–เมทธิลเทสโทสเตอร์โรนต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพง และเสื่อมคุณภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาพภูมิอากาศร้อนอย่างในประเทศไทย ทำให้ต้นทุนการผลิตปลาเพศผู้ในลักษณะนี้ค่อนข้างสูง และประสิทธิภาพการผลิตก็ไม่สม่ำเสมอ หากลูกปลากินอาหารผสมฮอร์โมนไม่ครบ ก็จะให้ผลผลิตเพศผู้ไม่ได้ 100 % อย่างไรก็ตามแม้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้จะได้รับการยืนยันว่าไม่มีผลตกค้างในเนื้อปลา โดยเฉพาะในปลาที่มีขนาดจับขายได้ แต่ก็ยังมีผู้บริโภคบางส่วนที่ไม่ยอมบริโภคปลานิลที่ถูกเปลี่ยนเพศด้วยฮอร์โมนเหล่านี้

4. การผลิตปลานิลเพศผู้โดยทางอ้อม (indirect monosex production) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะผลิตปลานิลเพศผู้ทั้งหมด โดยหลีกเลี่ยงปัญหาฮอร์โมนที่อาจตกค้างในเนื้อปลาหรือหลีกเลี่ยงปัญหาของประสิทธิภาพการผลิตปลานิลเพศผู้ที่ไม่สม่ำเสมอ การผลิตปลานิลเพศผู้โดยทางอ้อม ทำได้โดยผลิตพ่อพันธุ์ปลานิลซูเปอร์เมล (supermale หรือ YY- male) ซึ่งมีโครโมโซมเพศเป็น YY แล้วนำพ่อพันธุ์ซูเปอร์เมลเหล่านี้ไปผสมกับแม่พันธุ์ปลานิลปกติ จะได้ลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมด เนื่องจากลูกปลาเพศผู้เหล่านี้เป็นเพศผู้โดยพันธุกรรม (genetically male tilapia, GMT) และมีโครโมโซมเพศเป็น XY จึงนิยมเรียกปลาเพศผู้เหล่านี้ว่า ปลานิลเพศผู้ GMT ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้ (นวลมณี และพุทธรัตน์, 2538)

4.1 รวบรวมลูกปลาจากปากแม่ปลามาอนุบาลจนถุงไข่แดงยุบและเริ่มกินอาหาร

4.2 เตรียมอาหารผสมฮอร์โมนไดเอธทิลสทิลเบสทรอล (Diethylstilbestrol หรือ DSE) อัตราส่วน 1 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ละลายฮอร์โมนในสารละลายเอทธิลแอลกอฮอล์ และคลุกกับอาหารให้ทั่วให้ลูกปลากินนาน 28 วัน จะได้ลูกปลาที่เป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม 2 แบบ คือ XX และ XY

4.3 ตรวจสอบว่าปลาเพศเมียตัวใดเป็นเพศเมียที่มีโครโมโซม XY โดยเลี้ยงปลาเหล่านั้นจนเป็นแม่พันธุ์ แล้วนำมาผสมกับปลาเพศผู้ปกติที่มีโครโมโซมเพศเป็น XY ถ้าแม่ปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 3 ต่อ 1 แสดงว่ามีโครโมโซมเพศเป็น XY

4.4 นำปลาเพศเมียที่มีโครโมโซม XY ดังกล่าวมาผสมกับปลานิลเพศผู้ปกติจะได้ลูกปลาเพศเมียต่อเพศผู้ เท่ากับ 1 ต่อ 3 โดยในลูกปลาเพศผู้เหล่านี้จะมี 1 ส่วนที่มีโครโมโซมเพศเป็น YY

4.5 ตรวจสอบว่าปลาเพศผู้ตัวใดเป็นเพศผู้ที่มีโครโมโซม YY โดยนำไปผสมกับปลาเพศเมียปกติ ถ้าปลาตัวใดผลิตลูกปลาที่เป็นเพศผู้ทั้งหมดแสดงว่ามีโครโมโซมเพศเป็น YY แสดงว่าเป็นปลานิลซูเปอร์เมล เมื่อนำมาผสมกับปลาเพศเมียปกติ จะได้ปลาเพศผู้ GMT หรือที่เรียกว่าเป็นปลานิลสายพันธุ์จิตรลดา 2

การเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT ให้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ 28.25 % (นวลมณี และพุทธรัตน์, 2538)

1.3 สภาวะการผลิตและการตลาดปลานิล

เครือวัลย์ (2542) กล่าวว่าสายพันธ์สัตว์น้ำตระกูลปลานิลที่นิยมเลี้ยงในบ่อกันมาก ได้แก่ Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), Blue tilapia (*O. aureus*), Mozambique tilapia (*O. mossambicus*), Three spotted tilapia (*O. andersonii*), Longfin tilapia (*O. macrochir*), Mango tilapia (*Sarotherodon galilaeus*), Blackchin tilapia (*S melanotheron*), Spotted tilapia (*Tilapia mariac*) และ Redbelly tilapia (*T. zilii*).

ปัจจุบันพบปลานิลทั่วไปในแทบทุกแหล่งน้ำของประเทศไทยโดยปลานิลเข้ามามีบทบาทในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารโปรตีนสำหรับการบริโภคของประชาชน และเป็นปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเป็นอันดับหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2539 ผลผลิตสัตว์น้ำตระกูลปลานิลจากธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงทั่วโลก มีจำนวน 1,265,600 ตัน ซึ่งเป็นผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมากกว่า 800,800 ตัน ทวีปเอเชียเป็นแหล่งผลิตแหล่งใหญ่มีผลผลิตสูงถึง 75 % ของผลผลิตทั่วโลก โดยพบว่าประเทศที่มีผลผลิตสูงสุด 5 อันดับแรกคือ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (49.2 %) อินโดนีเซีย (9.8 %) ฟิลิปปินส์ (9.5 %) ไทย (9.5 %) และไต้หวัน(5.6 %) (เพ็ญพรรณ, 2543) สำหรับปริมาณการส่งออกไต้หวันถึงแม้จะเป็นประเทศที่มีผลผลิตต่ำที่สุด แต่มีการส่งออกมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ คอสตาริกา โคลัมเบีย จาไมกา เวเนซุเอลา และเอควาดอร์ ตลาดที่สำคัญของการส่งออก ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา รองลงมาคือ ตลาดในกลุ่มยุโรป ซึ่งตลาดสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลานิลในประเทศสหรัฐอเมริกากำลังพัฒนาอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าสีของเนื้อปลาค่อนข้างขาว สามารถแล่เนื้อได้ง่าย มีก้างน้อย รสชาติดี ไม่มีกลิ่น ใช้ปรุงอาหารได้หลายอย่างและใช้แทนปลาเนื้อขาวชนิดอื่นได้ ในปี พ.ศ. 2540 มีการนำเข้า 24,400 ตัน มูลค่า 4.95 ล้านเหรียญสหรัฐ ผู้ผลิตรายใหญ่ที่นำเข้าสหรัฐ ได้แก่ ไต้หวัน ลักษณะปลาที่นำเข้าจะเป็นปลาทั้งตัวแช่แข็ง รองลงมาได้แก่ คอสตาริกา เป็นปลาแล่เนื้อสด ส่วนอินโดนีเซียเป็นปลาแล่เนื้อแช่แข็ง นอกจากนั้นเป็นตลาดอื่นๆ เช่น เยอรมัน ฝรั่งเศส เบลเยี่ยม ออสเตรเลีย อิตาลี สวิสเซอร์แลนด์ และเนเธอร์แลนด์ ตลาดหลักจะอยู่ในเมืองใหญ่ๆ ซึ่งมีชุมชนชาวแอฟริกันและเอเชียอาศัยอยู่หนาแน่นเช่น ลอนดอน ปารีส อัมสเตอดัม โดยปริมาณการซื้อขายปลาชนิดนี้เกือบทั้งหมดมาจากการนำเข้า (เครือวัลย์, 2542) จากสถิติกรมประมง ปี พ.ศ. 2541 ปรากฏว่ามีผลผลิตปลานิลจากการจับและการเพาะเลี้ยงทั่วประเทศรวม 113,600 ตัน มูลค่ารวม 3,228.7 ล้านบาท โดยแบ่งเป็นผลผลิตจากการจับ 40,173 ตัน (67.7 %) มูลค่า 1,141.7

ล้านบาท และจากการเพาะเลี้ยง 73,427 ตัน (32.3 %) มูลค่า 2,087 ล้านบาท ซึ่งผลผลิตจำแนกตามประเภทการเลี้ยงคือ เลี้ยงในบ่อผลผลิตรวม 67,190 ตัน เลี้ยงในนาผลผลิตรวม 3,764 ตัน เลี้ยงในร่องสวน 1,976 ตัน และเลี้ยงในกระชัง 497 ตัน การใช้ประโยชน์ของปลานิลส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศในรูปของการบริโภคสด (86.23 %) ทำเค็มและตากแห้ง (6.65 %) นอกจากนั้นเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่นนึ่ง ย่าง ทำน้ำปลา และปลาร้า (7.12 %) (กองเศรษฐกิจการประมง, 2544) ดังนั้นกรมประมงจึงกำหนดเป็นนโยบายให้ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจตัวหนึ่งในการส่งเสริมการเลี้ยงเพื่อส่งออก

จากข้อมูลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า ปลานิลเป็นปลาเศรษฐกิจที่น่าสนใจและมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการเลี้ยงในเชิงอุตสาหกรรม และเป็นปลาที่สามารถผลิตได้อย่างไม่จำกัด และปัจจัยที่สำคัญในการเลี้ยงคือ อาหารซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตที่สำคัญถึง 50-60 % ดังนั้นการศึกษาวิจัยเรื่องการผลิตอาหารในการที่จะลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นเรื่องสำคัญเพื่อให้เกิดผลกำไรสูงสุดแก่เกษตรกร

2. คาร์โบไฮเดรต

2.1 ความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และมีหลายชนิดในธรรมชาติ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารมหโมเลกุล (macromolecule) เช่น แป้ง ไกลโคเจน (glycogen) และเซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น แต่ก็มีหลายชนิดที่อยู่ในรูปโมเลกุลเล็ก เช่นน้ำตาลชนิดต่างๆ (ประหยัด, 2542; วีรพงศ์, 2536) นอกจากคาร์โบไฮเดรตจะช่วยทำให้อาหารมีรสหวาน คงรูปร่างและลักษณะชวนกินแล้วยังมีบทบาท ทำหน้าที่สำคัญๆ หลายอย่างในสิ่งมีชีวิตดังต่อไปนี้ (เวียง, 2542)

1. เป็นโครงสร้างของร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเยื่อหุ้มเซลล์และสารพื้นฐานในเนื้อเยื่อตามอวัยวะที่สำคัญต่างๆ ของร่างกาย คาร์โบไฮเดรตในกลุ่มนี้ ได้แก่ มิวโคโพลีแซกคาไรด์ (mucopolysaccharide) และไกลโคไลปิด (glycolipid) มิวโคโพลีแซกคาไรด์ซึ่งพบมากในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน น้ำหล่อลื่นลูกตา แก้วตา กระดูก เกล็ด เปลือกหุ้มตัว ตับ ผนังเส้นเลือดใหญ่ ส่วนไกลโคไลปิดมักพบในสมองและใยประสาท

2. เป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่มีบทบาทสำคัญในร่างกายหลายชนิด เช่น น้ำตาลเพนโตส (pantose) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ โดยเฉพาะไรโบส (ribose) เป็นส่วนประกอบของกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid–RNA) กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก

(deoxyribonucleic acid-DNA) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และวิตามินไรโบเฟลวิน (riboflavin) ทำหน้าที่ร่วมกับเอนไซม์ (coenzyme) ที่สำคัญหลายชนิด นอกจากนี้ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกาะอยู่กับโปรตีนเป็นองค์ประกอบของสารสำคัญ เช่น ไฟบริโนเจน (fibrinogen) ทำหน้าที่ช่วยให้เลือดแข็งตัวขณะเกิดบาดแผลและอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) เป็นสารต้านทานโรคและบอกหมู่เลือดในเม็ดเลือดแดง นอกจากนั้นไกลโคโปรตีน ยังเป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนบางอย่าง เช่น ฮอร์โมนกระตุ้นต่อมไทรอยด์ และเอนไซม์บางอย่าง เช่น เปบซิน (pepsin)

3. เป็นคลังอาหารและพลังงาน ไกลโคเจนเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ส่วนแป้งซึ่งสะสมในพืชเป็นอาหารหลักของสัตว์ ทั้งไกลโคเจนและแป้งจะถูกสลายและเผาผลาญเป็นพลังงานเมื่อสัตว์ต้องการโดยคาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 3.5 แคลอรี

2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน อัตราส่วนระหว่างธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนในคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 2 : 1 โดยประมาณ คาร์โบไฮเดรตนอกจากประกอบด้วยธาตุหลักสามธาตุดังกล่าวแล้ว อาจมีธาตุอื่นรวมอยู่ด้วย เช่น ฟอสเฟต กำมะถันและไนโตรเจน ธาตุหลักเหล่านี้จัดเรียงตัวกันเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กที่สุดเรียกว่า โมโนแซกคาไรด์ (monosaccharide) โมโนแซกคาไรด์ 2-10 โมเลกุลยึดต่อกับพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เรียกว่าโอลิโกแซกคาไรด์ (oligosaccharide) หากโมโนแซกคาไรด์ยึดต่อกันมากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไปเรียกว่า โพลีแซกคาไรด์ (polysaccharide)

โมโนแซกคาไรด์ คือน้ำตาลอย่างง่าย มีสูตรโมเลกุลเป็น $(CH_2O)n$ เมื่อ n คือ จำนวนคาร์บอนอะตอม ซึ่งโดยทั่วไปมีค่า 3-6 แต่น้ำตาลที่สำคัญในอาหารมีเพียงสองกลุ่มคือ กลุ่มเพนโตสซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ($C_5H_{10}O_5$) และกลุ่มเฮกโซสซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ($C_6H_{12}O_6$) น้ำตาลเพนโตสปกติจะไม่พบตามลำพังในธรรมชาติ แต่อาจพบบ้างในถั่วและรากพืชบางชนิด สัตว์สามารถสังเคราะห์น้ำตาลเพนโตสโดยเฉพาะไรโบส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่สำคัญในร่างกายหลายชนิด น้ำตาลเฮกโซสพบในอาหารและที่มีความสำคัญทางโภชนาการสำหรับสัตว์น้ำก็คือกลูโคส กาแลกโตสและแมนโนส โอลิโกแซกคาไรด์ ที่สำคัญและพบมากในธรรมชาติคือ ไดแซกคาไรด์และไตรแซกคาไรด์ ไดแซกคาไรด์มีความสำคัญทางโภชนาการคือ ซูโครสหรือน้ำตาลทราย มอลโตสในเมล็ดข้าวโดยเฉพาะข้าวมอลท์และแลกโตสในน้ำนม ไตรแซกคาไรด์ที่สำคัญคือราฟิโนส (raffinose) ซึ่งพบมากในธรรมชาติโดยเฉพาะหัวบีท (beet root) ส่วนโพลีแซกคาไรด์ไม่ใช่น้ำตาล พบมากในธรรมชาติ ที่มีความสำคัญทางโภชนาการมี

สองกลุ่ม คือ กลุ่มที่ทำหน้าที่สะสมอาหารพลังงานในพืชและสัตว์ ได้แก่ แป้งและไกลโคเจน และกลุ่มที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ในพืช คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ยางไม้ วุ้น พังผืดและเอ็น เป็นต้น (เวียง, 2542)

น้ำตาลและแป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ แต่ในสัตว์น้ำไม่นิยมใช้น้ำตาลเป็นอาหาร เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลมีขนาดเล็กและถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดได้ทันทีโดยไม่ต้องย่อย ประกอบกับการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินซึ่งทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของสัตว์น้ำมีประสิทธิภาพต่ำ ระดับน้ำตาลในเลือดจึงสูง และน้ำตาลที่ยังไม่ได้ใช้เป็นประโยชน์เป็นพลังงานภายในเซลล์อาจถูกขับออกนอกร่างกายทางปัสสาวะ ทำให้สัตว์น้ำได้รับพลังงานจากน้ำตาลน้อยกว่าปกติและมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ตรงข้ามกับแป้งซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่จำเป็นต้องผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็กลงหลายขั้นตอนก่อนถูกดูดซึม ทำให้การดูดซึมดำเนินไปอย่างช้าๆ น้ำตาลในเลือดมีระดับพอเหมาะและถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะเพียงเล็กน้อย สัตว์น้ำจึงได้รับพลังงานจากแป้งมากกว่าน้ำตาล ด้วยเหตุนี้แป้งจึงเป็นอาหารพลังงานหลักของสัตว์น้ำ แป้งไม่ละลายในน้ำเย็น ในน้ำร้อนแป้งจะดูดน้ำและพองตัวเป็นแป้งเปียกคล้ายกาว โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) ซึ่งละลายในน้ำร้อนและอะไมโลเปคติน (amylopectin) ซึ่งละลายในน้ำร้อนได้ไม่ดีเหมือนอะไมโลส (เวียง, 2542) โดยปกติโมเลกุลของอะไมโลเปคตินเป็นลักษณะพิเศษของแป้งจากพืชแต่ละชนิด เช่น แป้งข้าวโพดมีอะไมโลสประมาณ 26 % แป้งมันสำปะหลังประมาณ 18 % แป้งข้าวเหนียวเป็นอะไมโลเปคตินเกือบทั้งหมดมีอะไมโลสไม่เกิน 1 % ส่วนแป้งข้าวเจ้ามีอะไมโลสประมาณ 17-30 % ความแตกต่างในสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเปคตินในแป้งทำให้แป้งแต่ละชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกัน เช่นแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลเปคตินที่โมเลกุลมีโครงสร้างซับซ้อนมาก สัตว์น้ำจะใช้ประโยชน์ได้ไม่ดีเท่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีอะไมโลเปคตินน้อยกว่า (NRC, 1977)

คาร์โบไฮเดรตในอาหารที่สัตว์ใช้ประโยชน์ไม่ได้ คือ ส่วนที่ย่อยไม่ได้หรือเรียกว่า กากอาหาร (fiber) ส่วนใหญ่เป็นโพลีแซกคาไรด์ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ได้แก่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสพบในพืชประมาณ 40-50 % แม้สัตว์น้ำย่อยกากอาหารไม่ได้แต่ช่วยควบคุมอัตราการเดินทางของอาหารในท่อทางเดินอาหารให้ช้าลง ทำให้อาหารมีเวลาสัมผัสกับเอนไซม์นานขึ้นและส่งผลให้อาหารถูกย่อยได้มากขึ้น มีการนำหลักการนี้ไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยของอาหารทดลองที่ประกอบด้วยวัตถุดิบสังเคราะห์ที่ไม่มีกากอาหาร และพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของปลากดหลวงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีกากอาหารได้โดยการเติมกากอาหารในอาหารไม่ให้เกิน 21 % ส่วนอาหารที่ประกอบด้วยวัตถุดิบตามธรรมชาติและมีกากอาหารไม่ต่ำกว่า 8 % ไม่จำเป็นต้องเติมกากอาหารอีก (NRC, 1993) หรือถ้าต้องการก็

อาจเติมได้อีกจนอาหารมีกากอาหารไม่เกิน 14 % นอกจากนั้นสมบัติในการไม่ละลายน้ำแต่ดูดน้ำได้ดีของกากอาหารยังช่วยเพิ่มเนื้อที่ของอาหารให้เต็มทางเดินอาหารและกระตุ้นให้ลำไส้บีบตัวและมีการขับถ่ายมูลตามปกติ รวมทั้งช่วยดูดซับสารพิษและขับถ่ายออกจากร่างกายพร้อมมูลด้วย (วีรพงศ์, 2536; เวียง, 2542)

2.3 แหล่งของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติปกติพบในพืช ในสัตว์พบน้อยมาก คาร์โบไฮเดรตที่ใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำคือแป้ง วัตถุดิบอาหารจำพวกแป้งที่ใช้ผสมในสูตรอาหารได้แก่

1. กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน

เป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กากปาล์มน้ำมันที่พบในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ กากผลปาล์มและกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน กากผลปาล์มเป็นผลพลอยได้จากการนำเอาปาล์มทั้งผลมาสกัดน้ำมัน มีโปรตีนค่อนข้างต่ำประมาณ 7 % แต่มีเยื่อใยสูงประมาณ 30 % ส่วนกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการนำเมล็ดปาล์มซึ่งแยกเอาส่วนของเปลือกนอกออกแล้วมาสกัดน้ำมันซึ่งเป็นส่วนที่มีกะลาปนอยู่ กากที่ได้ควรมีแต่เนื้อเมล็ดในปาล์ม แต่โรงงานที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังไม่สามารถแยกกะลาออกได้หมด ส่วนประกอบทางเคมีของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มจึงมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการหีบน้ำมัน และวัตถุดิบ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางโภชนะดีพอสมควรคือ มีโปรตีนคุณภาพสูงประมาณ 10-12 % เยื่อใยประมาณ 20-25 % และมีความสมดุลระหว่างแคลเซี่ยมและฟอสฟอรัสดีกว่ากากเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ (McDonald *et al*., 1981)

2. กากมะพร้าว

เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันของโรงงานผลิตน้ำมันพืช มีโปรตีนประมาณ 18-21% แต่ถ้าเป็นกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิจะมีโปรตีนต่ำมากประมาณ 1.2 % มีเยื่อใยประมาณ 12 % ไขมัน 6 % มีกลิ่นหืนง่าย นอกจากนี้ยังเป็นไขมันประเภทอิ่มตัว ซึ่งถ้าใช้ในระดับสูงในสูตรอาหารจะทำให้ซากสัตว์มีฮิสติดีนต่ำ (Hasan *et al*., 1997) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 360 พ.ศ.2521 ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกากเนื้อมะพร้าวแห้งที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ ได้กำหนดประเภทและชนิดไว้ 2 ประเภทคือ 1. กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่ใช้เป็นอาหารสัตว์แบ่งตามกรรมวิธีการทำซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากสกัดน้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวแห้งโดยวิธีกล เช่น วิธีบีบ (expeller) วิธีอัด (hydraulic) หรือวิธีหมุน (rotary) และผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากสกัด

น้ำมันออกจากเนื้อมะพร้าวแห้งโดยใช้ตัวทำละลายสกัด (solvent extraction) 2. กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ที่ผ่านกรรมวิธีกลและการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยแบ่งตามรูปร่างลักษณะเป็น 3 ชนิดคือ กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีลักษณะเป็นแผ่น (copra cake) กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีลักษณะเป็นผง (copra meal) กากเนื้อมะพร้าวแห้งที่มีลักษณะเป็นเม็ด (copra pellet) (ราชกิจจานุเบกษา, 2521)

3. รำข้าว

มีอยู่หลายชนิด อาทิ รำหยาบ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน รำละเอียดมีโปรตีน 10 % ไขมัน 12 % ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีกรดไขมันลิโนลีอิก (linoleic) ค่อนข้างสูงรวมทั้งกรดลิโนลีนิค (linolenic) ด้วย และเป็นกรดไขมันที่ปลาต้องการ รำมีโปรตีนสูงกว่าข้าวโพด มีธาตุฟอสฟอรัส วิตามินบีหลายชนิด เช่น วิตามันบี1 ไนอาซีน กรดแพนโทเทนิก โคลีนสูงเป็นพิเศษ แต่มีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และทริฟโตเฟน (tryptophan) ต่ำ รำละเอียดนิยมใช้กันมากในการทำสูตรอาหารผสม เนื่องจากเป็นอาหารที่มีโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ มีคุณสมบัติเป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยทำให้การย่อยอาหารดีขึ้น นอกจากนั้นเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานด้วย เนื่องจากมีไขมันสูงด้วย และมีอาหารพวกแป้งเป็นจำนวนมาก ส่วนรำสกัดน้ำมันเป็นรำละเอียดที่ผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันออก จึงมีระดับไขมันต่ำกว่ารำละเอียด รำสกัดน้ำมันที่ทำให้ร้อนแห้งอย่างไม่ถูกวิธีจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำ (เสาวนิต, 2527)

4. ข้าวโพด

จัดเป็นอาหารหลักหรืออาหารพลังงานที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีความน่ากินมากกว่าเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น มีแป้งประกอบอยู่ประมาณ 65 % มีเยื่อใยต่ำ สัตว์สามารถย่อยได้สูง มีโภชนะที่สัตว์สามารถย่อยได้ทั้งหมดประมาณ 80 % ในสภาพปกติ เมล็ดข้าวโพดมีไขมันประมาณ 3-6 % ซึ่งมากกว่าธัญพืชชนิดอื่น และส่วนประกอบของไขมันเช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชอื่น คือ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ มีกรดไขมันลิโนลีอิกมากที่สุดประมาณ 34-56 % รองลงมาคือ กรดโอลีอิก (Oleic) 30-50 % กรดปาล์มิติก (palmitic) 8-10 % และกรดสเตียริก (stearic) 2-4 % ดังนั้นข้าวโพดจึงเป็นแหล่งที่ดีของกรดลิโนลีอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับสัตว์ เมล็ดข้าวโพดจะมีโปรตีนต่ำเช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชทั่วไป คือ ประมาณ 8-13 % และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีกรดอะมิโนไลซีน และทริปโตเฟนน้อยมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ได้ทำการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นสูงขึ้น และได้สร้างข้าวโพดพันธุ์ใหม่ขึ้นมาอีกหลายชนิด เช่น พันธุ์โอเพก-2 เป็นพันธุ์ที่มีกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดอื่นสูงกว่าข้าวโพดธรรมดา (เสาวนิต, 2527)

5. มันสำปะหลัง

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามระดับของกรดไฮโดรไซยานิกที่เป็นองค์ประกอบ คือ ชนิดหวาน มันสำปะหลังชนิดนี้มักนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์อาจจะนำมาบริโภคสดหรือทำผลิตภัณฑ์ เช่น แป้งมัน เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งคือชนิดขม มันสำปะหลังชนิดนี้นำมาใช้เลี้ยงสัตว์ ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกในมันสำปะหลังชนิดขมมีมากกว่าชนิดหวาน กรดไฮโดรไซยานิกพบได้ในทุกส่วนของมันสำปะหลัง เช่น ใบ เปลือกและเนื้อ เป็นต้น มันสำปะหลังมีโปรตีนต่ำมาก คือมีประมาณ 2.3 % ของน้ำหนักแห้ง และมีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่ำ การใช้มันสำปะหลังประกอบเป็นอาหารสัตว์น้ำ มักนิยมใช้มันเส้นซึ่งได้จากหัวมันสดที่หั่นเป็นแว่นๆ ตากแดด 3-5 แดด ให้สารพิษสลายตัวไป (บุญชัย, 2532) มันเส้นบด น้ำหนักจะเบาปริมาตร 1 ลิตรมีน้ำหนักเพียง 450-550 กรัม มันเส้นบดมีฝุ่นละอองมากขณะบดและผสมอาหาร เมื่อสัตว์กินจะระคายเคืองระบบหายใจ แก้ไขได้โดยการอัดเป็นเม็ดหรือผสมกับน้ำให้สัตว์กิน รสชาติไม่ค่อยดี จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มันเส้นมีแป้งที่ละลายน้ำได้ ทำให้ย่อยง่ายถึง 76.75 % มากกว่าข้าวโพด 6.69 % แต่มีโปรตีน 2.52 % ไขมัน 0.47 % กรดอะมิโนเมทไธโอนีน 0.019 % เยื่อใย 3.2 % และเถ้า 5.03 % เมื่อตากแดด 5 วัน กรดไฮโดรไซยานิคจะเหลือเพียง 10.7 มิลลิกรัมต่อมันเส้น 1 กิโลกรัม (สุขสันต์, 2540)

6. ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดเป็นอาหารเสริมโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพดีที่สุด เพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นเกือบทุกชนิดเพียงพอกับความต้องการของสัตว์ยกเว้นเมทไธโอนีนซึ่งขาดไปเล็กน้อย ถ้าใช้ผสมในสูตรอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว ควรผสมร่วมกับอาหารเสริมโปรตีนจากสัตว์ที่มีเมทไธโอนีนสูง เพื่อให้สัตว์ได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกชนิดเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย นอกจากนี้ในถั่วเหลืองยังมีสารจีนิสทีน (genistein) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนเอสโทรเจนซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของสัตว์ได้ แต่ถั่วเหลืองมีคาโรทีน วิตามินดี และวิตามินบี12 ต่ำ เช่นเดียวกับเมล็ดพืชทั่วๆ ไป

ถั่วเหลืองที่ใช้เลี้ยงสัตว์อาจใช้ได้ทั้งในรูปเมล็ดถั่วเหลืองและกากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีน ประมาณ 38 % และมีไขมันประมาณ 16-21 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันที่จำเป็นสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดลิโนลีอิก ซึ่งเป็นประโยชน์กับสัตว์ มีกรดอะมิโนไลซีนสูงและเป็นโปรตีนที่กุ้งและปลาย่อยได้ง่าย (จารุรัตน์, 2528)

2.4 การย่อยคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์น้ำอาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ น้ำตาล แป้ง และกากอาหาร แป้งจะต้องถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะซึมเข้าสู่ร่างกายได้ น้ำตาลซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กอยู่แล้ว และมักพบในอาหารสัตว์น้ำในปริมาณไม่มากนัก ร่างกายสัตว์น้ำจะดูดซึมไปใช้ได้ โดยไม่ต้องถูกย่อยอีก ส่วนกากอาหารเอนไซม์ของสัตว์น้ำย่อยไม่ได้ แต่ก็มีส่วนช่วยให้อาหารถูกย่อยได้มากขึ้นหากมีในอาหารไม่มากจนเกินไป การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสัตว์น้ำเกิดขึ้นในลำไส้เมื่ออาหารเหลว (chyme) ซึ่งเกิดจากการคลุกเคล้าระหว่างอาหารกับเมือกและน้ำย่อยในกระเพาะถูกส่งผ่านเข้าสู่ลำไส้ตอนต้น อาหารเหลวนี้จะกระตุ้นให้ต่อมในผนังเยื่อเมือกของลำไส้ผลิตฮอร์โมนหลายชนิดเพื่อกระตุ้นต่อให้ต่อมในตับอ่อนและลำไส้ผลิตเอนไซม์ (ตาราง 1) ฮอร์โมนที่กระตุ้นให้ตับอ่อนผลิตน้ำย่อยเพื่อย่อยคาร์โบไฮเดรต คือ ฮอร์โมนซีครีติน (secretin) และฮอร์โมนแพนครีโอไซมิน (pancreozymin) ส่วนฮอร์โมนที่กระตุ้นให้ต่อมในผนังเยื่อเมือกของลำไส้ผลิตเอนไซม์ คือ ฮอร์โมนเอนเตอโรครินิน (enterocrinin)

เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่เรียกว่าคาร์โบไฮเดรส มีหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในทางเดินอาหารของปลา (วุฒิพร, 2541) เอนไซม์จากตับอ่อนที่มีหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ คือ อะไมเลส (amylase) เอนไซม์อะไมเลสนี้จะย่อยคาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้งและไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ มอลโตไตรโอส (moltotriose) และมอลโตส สำหรับการย่อยไดแซคคาไรด์เป็นโนโนแซคคาไรด์เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของเยื่อเมือกลำไส้เล็กซึ่งเป็นบริเวณที่มีเอนไซม์พวกไดแซคคาริเดส (disaccaridase) คือ ซูเครส (sucrase) แลกเตส (lactase) มอลเตส (maltase) และไอโซมอลเตส (isomaltase) เอนไซม์เหล่านี้ทำหน้าที่ย่อยไดแซคคาไรด์เป็นโมโนแซคคาไรด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลูโคส ฟรุกโตสและกาแลกโตส ดังตาราง 1 (เวียง, 2542)

พวกโพลีแซกคาร์ไรด์จัดเป็นโพลิเมอร์ของโมโนแซกคาร์ไรด์จำนวนมากมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เช่นแป้ง (starch) เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (hamicellulose) ส่วนอะไมโลเปคติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของแป้งที่มีสาขาเกาะอยู่นั้นก็จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสเช่นกัน (เสกสม, 2544; De Silva และ Anderson,1995)

เอนไซม์ในปลากินพืชและปลากินเนื้อส่วนใหญ่ได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร ตับและตับอ่อน ในขณะที่ปลากินเนื้อจะหลั่งออกมาจากตับอ่อนเพียงแห่งเดียวเท่านั้น ทำให้ปลากินเนื้อมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ไม่ดี (วีรพงศ์, 2536)

ตาราง 1 สรุปผลของการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์จากแหล่งต่างๆ

แหล่งผลิตเอนไซม์	สิ่งกระตุ้น	ชนิดของเอนไซม์ที่ผลิต	คาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อย	ผลผลิตจากการย่อย
ตับอ่อน	ฮอร์โมนซีครีติน และแพนครีโอไซมินจากผนังเยื่อเมือกในลำไส้	อะไมเลส	แป้งและไกลโคเจน	โอลิโกแซคคาไรด์ มอลโตไตรโอส และมอลโตส
ลำไส้	ฮอร์โมนเอนเตอโรครินินจากผนังเยื่อเมือกในลำไส้	ซูเครส แลกเตส มอลเตส ไอโซมอลเตส	ซูโครส แลกโตส มอลโตส ไอโซมอลโตส โอลิโกแซคคาไรด์	กลูโคสและฟรุกโตส กลูโคสและกาแลกโตส กลูโคส กลูโคส

ที่มา : เวียง (2542)

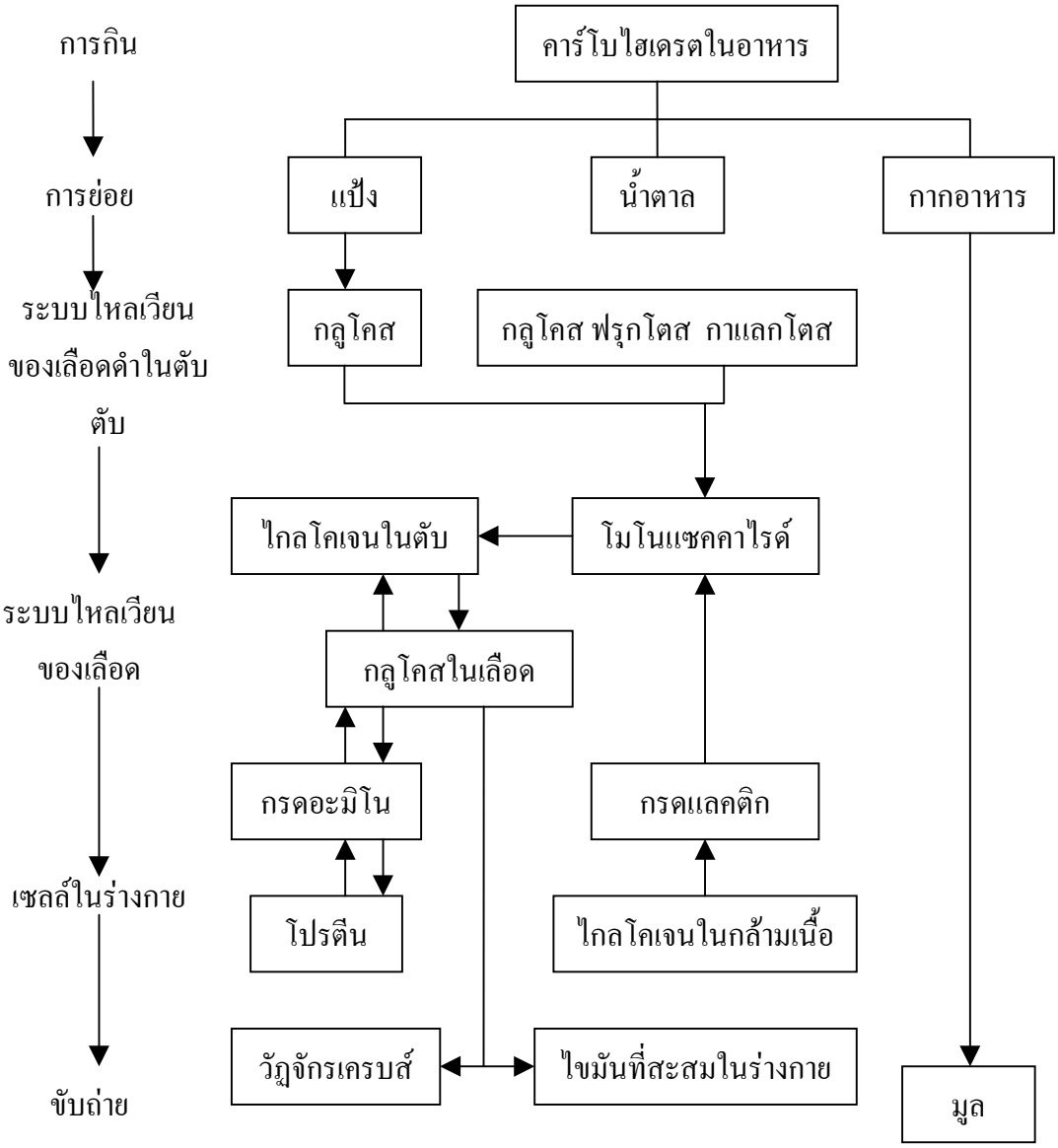
2.5 การดูดซึมและการขนส่งคาร์โบไฮเดรต

ตามปกติคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยแล้วและอยู่ในรูปโมโนแซคคาไรด์เท่านั้นที่จะถูกดูดซึมได้ แต่บางครั้งอาจมีไดแซคคาไรด์ เช่น ซูโครสถูกดูดซึมเข้าไปได้ด้วยเช่นกัน อัตราความเร็วของการดูดซึมโมโนแซคคาไรด์แตกต่างกัน การดูดซึมกาแลกโตสและกลูโคสต้องใช้พลังงาน การดูดซึมเช่นนี้เกิดขึ้นเร็วกว่าการดูดซึมฟรุกโตสซึ่งต้องใช้พลังงานและอาศัยตัวพา การดูดซึมโมโน-แซคคาไรด์อื่นๆ เช่นไรโบสและอะราบิโนสเกิดขึ้นโดยอาศัยการซึมผ่านแบบธรรมดา (simple difussion) จึงค่อนข้างช้า

เมื่อโมโนแซคคาไรด์ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนของโลหิตไปถึงตับ ถ้าไม่ถูกใช้ทันทีก็จะถูกแปรรูปเป็นกลูโคสและส่งต่อไปยังเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกายโดยระบบไหลเวียนของเลือด เมื่อกลูโคสไปถึงเซลล์จะเข้าสู่ภายในเซลล์โดยตัวนำที่เซลล์ใช้ในการขนส่งโซเดียมไอออนผ่านผนังเซลล์ การขนส่งในลักษณะนี้ต้องใช้พลังงาน ซึ่งบางกรณีอาจเป็นการขนส่งจากส่วนที่มีความเข้มข้นของสารต่ำไปยังส่วนที่มีความเข้มข้นของสารสูงกว่าก็ได้ การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยวิธีการนี้จะเร็วกว่าการขนส่งตามปกติ (เวียง, 2542)

2.6 การนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้ประโยชน์

คาร์โบไฮเดรตที่เข้าสู่ระบบไหลเวียนของเลือดดำในตับคือ โมโนแซคคาไรด์ ซึ่งตามปกติได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและกาแลกโตส น้ำตาลเหล่านี้เมื่อไปถึงตับถ้าไม่ถูกนำไปใช้โดยตรงก็จะถูกเซลล์ในตับแปรรูปเป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อส่งเข้าระบบไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ เซลล์จะนำกลูโคสไปใช้ในลักษณะต่างๆ กันแล้วแต่ความต้องการในขณะนั้นๆ เช่น ถ้ามีความต้องการพลังงาน เซลล์ก็จะใช้กลูโคสเป็นพลังงานโดยตรง กลูโคสที่เหลือใช้จะถูกเปลี่ยนเป็นไกลโคเจน การเก็บพลังงานสำรองในรูปของไกลโคเจน ร่างกายเก็บได้ไม่นานเพราะโมเลกุลของไกลโคเจนมีขนาดใหญ่ ดังนั้นร่างกายจึงนำกลูโคสที่เหลือใช้ไปสังเคราะห์เป็นไขมันเพื่อเก็บเป็นพลังงานสำรอง ในกรณีที่จำเป็นเซลล์อาจนำกลูโคสมาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนต่อไป (เวียง, 2542) การใช้คาร์โบไฮเดรตในร่างกายสัตว์น้ำสรุปได้ดังในภาพที่ 1



ภาพ 1 การย่อยและการใช้คาร์โบไฮเดรตในร่างกายสัตว์น้ำ
ที่มา : เวียง (2542)

ในการสังเคราะห์สารเคมีที่จำเป็นต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาสัตว์น้ำต้องใช้คาร์โบไฮเดรตแต่ไม่มากนัก จึงไม่ค่อยมีปัญหา คาร์โบไฮเดรตที่ต้องการส่วนใหญ่ คือน้ำตาลไรโบสสำหรับสังเคราะห์ RNA และ ATP ดีออกซีไรโบสสำหรับสังเคราะห์ DNA กาแลกโตสและกลูโคสสำหรับสังเคราะห์มิวโคโพลีแซคคาไรด์และไกลโคโปรตีน

การใช้กลูโคสเป็นพลังงานอาจเกิดได้ 3 ทาง ทางแรกเป็นการใช้กลูโคสจากเลือดโดยตรง ทางที่สองเป็นการใช้กลูโคสที่ได้จากไกลโคเจนในตับ ทางที่สามเป็นการใช้พลังงานจากกรดไขมันอิสระที่สังเคราะห์จากกลูโคสเหลือใช้และเก็บสะสมไว้ในร่างกาย ปริมาณกลูโคสในเลือดและไกลโคนเจนในตับและกล้ามเนื้อมีไม่มากนัก ดังนั้นการใช้พลังงานในร่างกายส่วนใหญ่จะเป็นทางที่สาม คือ จากไขมันที่สะสมไว้ ไขมันส่วนนี้ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้จากคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่เหลือใช้

การแปรรูปกลูโคสเป็นพลังงานหรือที่เรียกว่ากระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการเคมีที่ซับซ้อนมีหลายขั้นตอน การที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อให้การคายพลังงานอยู่ในลักษณะที่ค่อยเป็นค่อยไป และสามารถผันกลับได้เมื่อจำเป็น นอกจากนั้นก็เพื่อให้ความร้อนที่จะต้องสูญเสียแต่ละขั้นตอนเกิดขึ้นไม่มากนักและสามารถระบายออกได้ทันก่อนที่เซลล์จะเป็นอันตราย ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานก็เช่นเดียวกันกับกระบวนการทางเคมีอื่นๆ ในร่างกาย คือต้องอาศัยเอนไซม์และโคเอ็นไซม์หลายชนิดซึ่งร่างกายสร้างจากโปรตีนและวิตามิน วิตามินที่มีบทบาทที่สำคัญในเรื่องนี้ คือวิตามินในกลุ่มวิตามินบีรวมซึ่งได้แก่ ไธอะมีน ไรโบเฟลวิน ไบโอติน กรดแพนโทเธนิก และกรดนิโคตินิก นอกจากวิตามินแล้ว ยังต้องอาศัยเกลือแร่อีกหลายชนิด คือ โซเดียม โพแทสเซียม เหล็ก ไอโอดีน คลอรีน แมงกานีส โครเมียม สังกะสี โมลิบดินัม โคบอลต์ และซีลีเนียม (เวียง, 2542)

นอกจากสัตว์น้ำจะใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานแล้ว ยังมีสารอีกสองประเภทที่ร่างกายสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ คือ โปรตีนและไขมัน ร่างกายจะนำโปรตีนมาใช้เป็นพลังงานก็ต่อเมื่อร่างกายไม่สามารถหาพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันมาใช้ได้เพียงพอ เช่น ในกรณีที่อาหารที่กินมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันน้อยเกินไป หรือในกรณีที่อดอาหารเป็นเวลานาน หากเกิดเหตุการณ์อย่างกรณีแรกและอาหารมีโปรตีนเพียงพอ ร่างกายก็จะใช้โปรตีนในอาหารเป็นพลังงาน การใช้โปรตีนในลักษณะนี้เป็นการฟุ่มเฟือยและขาดประสิทธิภาพเพราะอาหารโปรตีนมีราคาแพงกว่าอาหารคาร์โบไฮเดรต นอกจากนั้นการใช้โปรตีนจะทำให้เกิดของเสียคือสารประกอบที่มีไนโตรเจนที่ร่างกายใช้ไม่ได้ เช่นยูเรีย และแอมโมเนีย ไตจึงต้องทำงานหนักเพื่อขับถ่ายของเสียเหล่านี้ สำหรับกรณีอดอาหารถึงขั้นที่ต้องใช้โปรตีนเป็นพลังงาน ร่างกายจะใช้โปรตีนจากกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อลีบลงและเกิดอาการผอมเห็นได้อย่างชัดเจน หากอดอาหารเป็นเวลานาน(วีรพงศ์, 2536; NRC, 1993)

ในการใช้ไขมันเป็นพลังงานในร่างกายสัตว์น้ำมีอยู่ขั้นตอนหนึ่งที่จำเป็นต้องใช้สารออกซาโลอะซิเตต (oxaloacetate) ที่ได้จากคาร์โบไฮเดรต หากคาร์โบไฮเดรตในอาหารมีน้อยและไม่สามารถให้สารนี้ได้เพียงพอ ร่างกายจะผลิตสารคีโตน (ketone body) มากกว่าปกติ เกิดสภาวะ

คีโตซิส (ketosis) สารคีโตนประกอบด้วยกรดอะซิโตอะซีติก กรดเบต้าไฮดรอกซีบิวทีริกและอะซีโตน ในภาวะปกติเซลล์หลายชนิด เช่น เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์สมองสามารถใช้สารคีโตนเหล่านี้เป็นพลังงานได้ แต่เนื่องจากสารคีโตนมีสภาพเป็นกรด ในกรณีที่มีมากถึงขั้นสร้างภาวะอะซิโตซิส (acitosis) ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ไตจะต้องทำงานหนักเพื่อขับถ่ายสารคีโตนที่เกินความต้องการออกจากร่างกาย กรณีเช่นนี้ทำให้ร่างกายต้องสูญเสียน้ำและเกลือแร่มาก การกินคาร์โบไฮเดรตจะช่วยป้องกันสภาวะคีโตซิสได้ หากอาหารที่กินไม่มีคาร์โบไฮเดรตร่างกายจะต้องสร้างกลูโคสจากกรดอะมิโนในโปรตีนและจากกลีเซอรอลในไขมัน ดังนั้นเพื่อให้การใช้พลังงานในร่างกายเป็นไปด้วยดีอาหารที่ใช้จึงต้องมีทั้งคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (De Silva และ Anderson, 1995; NRC, 1993)

3. การใช้คาร์โบไฮเดรตในปลา

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักอย่างหนึ่งในองค์ประกอบอาหารสัตว์ แม้ว่าสัตว์น้ำจะใช้แหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตได้ไม่ดีเท่าที่ควร (NRC, 1993) แต่ปลาบางชนิดที่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ค่อนข้างดีโดยเฉพาะปลากินพืช หรือกินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหารเช่น ปลานิลสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรต และใช้เป็นแหล่งของพลังงานได้ดีกว่าปลาไน (common carp) และปลาดุกอัฟริกัน (African catfish) (Degani and Revach, 1991) นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งสำรองโปรตีนและไขมันที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทำหน้าที่อื่นๆ ปลานิลสามารถใช้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น รำข้าว ปลายข้าว และมันสำปะหลังเป็นแหล่งให้พลังงานที่ดี โดยผสมในอาหารได้ประมาณ 30-60 % แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตและลดปริมาณโปรตีนลง ปลาก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี Shiau และ Peng (1993) ทดลองใช้กลูโคส แป้งและเด็กซ์ตริน ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสมวัยรุ่น พบว่าสามารถลดระดับโปรตีนในอาหารลงจาก 28 % เป็น 24 % โดยเพิ่มแป้ง หรือเด็กซ์ตริน จาก 37 เป็น 41 % โดยไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพของการใช้อาหารและคุณภาพซากของปลา ส่วน Zhongji และคณะ (1996) ศึกษาการทดแทนเด็กซ์ตรินในระดับ 9, 32 และ 50 % และไขมันระดับ 22.2, 12 และ 4 % ตามลำดับในอาหารปลานิลที่มีระดับโปรตีนเพียง 20 % และระดับพลังงาน (DE) 3,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า ปลานิลมีการเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตและลดระดับของไขมันลง แสดงให้เห็นว่าแม้ในอาหารที่มีระดับโปรตีนเพียง 20 % แต่การเพิ่มคาร์โบไฮเดรตลงในอาหารให้มีระดับของพลังงานที่เพียงพอปลานิลก็ยังเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังมีการทดลองอื่นๆ ที่ชี้ให้เห็นว่าปลาที่กินทั้งเนื้อและพืช หรือปลา

ที่กินซากในกลุ่มเดียวกับปลานิลสามารถใช้แหล่งอาหารจากคาร์โบไฮเดรตในการเจริญเติบโตได้ Erfanullah และ Jafri (1995) ทดลองเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรต (เด็กซ์ตริน) จาก 30 % เป็น 40 % และลดระดับของโปรตีนจาก 40 % เหลือ 30 % ในอาหารที่เตรียมสำหรับเลี้ยงปลายี่สก *(Labeo rohita)* ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนดังกล่าวไม่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ลดลง ในขณะเดียวกันยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนอีกด้วย นอกจากนี้การทดลองยังพบว่า การเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตในอาหารและลดระดับของโปรตีนลงจะช่วยกระตุ้นให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้น Shimeno และคณะ (1995) พบว่าการเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรตจาก 4 เป็น 58 % และลดระดับโปรตีนจาก 65 เหลือ 27 % จะส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูโคสฟอสเฟตไอโซเมอร์เรส (glucosephosphate isomerase) และฟอสโฟกลูโคเนตดีไฮโดรจีเนส (phosphogluconate dehydrogenase) ในตับเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งพบว่าระดับของไกลโคเจน (glycogen) และซีรัมไตรกลีเซอร์ไรด์ (serum triglyceride) สูงขึ้นเช่นกัน จากการที่ระดับของกิจกรรมและเอนไซม์เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าคาร์โบไฮเดรตในอาหารจะกระตุ้นกระบวนการไกลโคไลสีส (glycolysis) และไลโปจีนีสีส (lipogenesis) ขณะเดียวกันก็มีผลไปลดกระบวนการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) และการสลายกรดอะมิโนมาใช้เป็นพลังงานให้ลดน้อยลง

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มระดับของคาร์โบไฮเดรตในอาหารและทำให้ปลามีประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารชนิดนี้ได้สูงขึ้น จำเป็นต้องเสริมธาตุหรือสารอาหารบางชนิดลงไปในองค์ประกอบอาหารด้วย เช่น ไนอะซิน (niacin) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) ที่จำเป็นในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Shiau and Suen, 1992) Shiau (1997) ทดลองเสริมไนอะซินลงในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสมที่มีเด็กซ์ตรินและกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ผลการศึกษาพบว่า การเสริมไนอะซินปริมาณ 121 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในอาหารที่มีเด็กซ์ตรินเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงสุด และการเสริมไนอะซินปริมาณ 126 มิลลิกรัมในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะทำให้ปลาเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อเทียบกับปลาในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมไนอะซินในอาหาร นอกจากนี้การเสริมโครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) ในระดับ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต พบว่า จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้กลูโคสและการเจริญเติบโตของปลานิลลูกผสมดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโครมิกซ์ออกไซด์ หรือเสริมในระดับที่สูงหรือต่ำกว่า (Shiau and Shy, 1998) ส่วนการศึกษาของ Zhongji และคณะ (1996) พบว่า การเสริมฟอสฟอรัสลงในอาหารปลาที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรต 36-50 % ในปริมาณ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร ทำให้ปลานิลมีการ

เจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเทียบกับปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่เสริมฟอสฟอรัสหรือเสริมลงไปในระดับ 0.85 % ขณะเดียวกันยังพบว่าการเสริมสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของปลานิล นอกจากการเสริมสารอาหารหรือธาตุที่จำเป็นลงไปในอาหารแล้ว รูปแบบของคาร์โบไฮเดรตก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้คาร์โบไฮเดรตและการเจริญเติบโตของปลาด้วย เช่น พบว่ากลูโคสไม่สามารถทดแทนโปรตีนได้ดีเท่าแป้งและเด็กซ์ตริน Chuang และ Shiau (1993) ทดลองใช้ แป้ง ซูโครส มอลโตส และกลูโคส ในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสม โดยใช้องค์ประกอบอาหารดังกล่าวในระดับ 40 % เท่ากันทุกสูตร ผลการทดลองพบว่าปลานิลเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ตามด้วยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีมอลโตส ซูโครส และกลูโคส ตามลำดับ และพบว่าองค์ประกอบของไขมันในร่างกายปลาที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงกว่าด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกับรายงานการทดลองของ Shiau และ Lin (1993) ที่พบว่า ปลานิลลูกผสมที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในอาหารจะเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบในระดับเดียวกัน ซึ่งผลการศึกษาต่างๆ ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปลานิลมีความสามารถในการย่อยและใช้คาร์โบไฮเดรตในรูปเชิงซ้อน (complex carbohydrate) ได้ดีกว่ากลุ่มไดแซคคาร์ไรด์ และโมโนแซคคาร์ไรด์ ดังนั้นการเสริมคาร์โบไฮเดรตที่เป็นไดแซคคาร์ไรด์ และโมโนแซคคาร์ไรด์ในอาหารปลาจึงมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงประยุกต์ในสภาพการเลี้ยงจริงได้ไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีที่อาหารมีองค์ประกอบของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตสูงๆ ปลาจะมีประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารประเภทนี้ได้สูงขึ้นเมื่อเตรียมอาหารจากคาร์โบไฮเดรตที่สุกแล้ว ตัวอย่างเช่น Takeuchi และคณะ (1994) ศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลานิลและปลาคาร์พโดยใช้อาหารทดสอบที่มีระดับโปรตีน 36 % และคาร์โบไฮเดรต 40 % ผลการศึกษาพบว่า ปลาทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวโพดสุกในสัดส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตดีขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า การใช้อาหารปลาที่มีระดับของคาร์โบไฮเดรตสูงๆ ความถี่ในการให้อาหารจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยและใช้คาร์โบไฮเดรตด้วย Tung และ Shiau (1991) ศึกษาผลของความถี่ในการให้อาหารปลานิลที่ระดับของแป้งและกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหาร 40 % ผลการศึกษาพบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารวันละ 6 ครั้ง จะมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารวันละ 2 ครั้ง ทั้งคาร์โบไฮเดรตจาก 2 แหล่ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในอาหาร จะมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบ ทั้งการให้อาหาร 6 ครั้งต่อวัน และ 2 ครั้งต่อวัน

นอกจากนี้ การใช้คาร์โบไฮเดรตทดแทนโปรตีนในอาหารปลาในระดับสูงๆ ก็มีข้อจำกัดและปัจจัยหลาย ๆ ประการ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ระดับของคาร์โบไฮเดรตที่สูงขึ้นในอาหาร จะทำให้ระดับของเยื่อใยในอาหารสูงขึ้นด้วย Dioundick and Stom (1990) ทดลองในปลาหมอเทศ *O. mossambicus* โดยให้อาหารที่มีเซลลูโลส ตั้งแต่ 0-10 % พบว่าปลานิลจะเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับอาหารที่มีเซลลูโลส 2.5 % และ 5 % และการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อได้รับอาหารที่มีเซลลูโลส 10 % จากการศึกษาสรุปได้ว่าระดับของเยื่อใยในอาหารสูง 10 % มีผลให้ปลานิลมีประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและอัตราการแลกเนื้อลดลง จึงทำให้ปลาเติบโตลดลงด้วย ส่วน Shiau และ Liang (1994) ทดลองเสริมวุ้น (agar) ในระดับ 10 % ในอาหารที่มีระดับโปรตีน 24 และ 35 % ในปลานิลลูกผสม ผลการศึกษา พบว่า ปลากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมวุ้น 10 % ในอาหารที่มีโปรตีน 35 % จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของอาหาร (feed efficiency ratio) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และพลังงานสะสมน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมวุ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระดับโปรตีนในอาหาร 24 % ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจะสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงทั้งในสูตรที่เสริมและไม่เสริมวุ้น และผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมวุ้น 10 % จะมีประสิทธิภาพในการย่อยลดลงโดยเฉพาะประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจะต่ำกว่าชุดที่ได้รับอาหารไม่เสริมวุ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และพบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 24 % สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 35 % อย่างชัดเจนทั้งในชุดการทดลองที่เสริมและไม่เสริมวุ้น

4. ประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาเป็นการวัดความสามารถในการย่อยอาหารหรือสารอาหารของสัตว์น้ำว่าย่อยได้มากน้อยเพียงใดซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอาหารที่ปลาได้รับกับปริมาณสารอาหารที่ถูกย่อยและดูดซึม

Lovell (1988) กล่าวถึงประสิทธิภาพการย่อยอาหารโดยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริง (true digestibility) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ที่มีการพิจารณาถึงปริมาณของสารภายในตัวปลา (endogenous material) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไนโตรเจน เช่น เอนไซม์ เปปไทด์ (peptide) เซลล์บุผิว (epithelial cell) ที่ถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลา ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารแท้จริง จะให้ปลากินอาหารที่

ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน เพื่อใช้ประเมินค่าสารประกอบไนโตรเจนในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมมูล

2. ประสิทธิภาพการย่อยอาหารเสมือน (apparent digestibility) จะไม่นำค่าสารประกอบไนโตรเจนภายในตัวปลาซึ่งถูกขับออกมาพร้อมกับมูลปลา มาใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหาร

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามี 2 วิธี คือ

1. วิธีตรง (direct method) เป็นการวัดสารอาหารทั้งหมดที่ปลากินเข้าไปและขับออกมาในมูลปลาโดยตรง โดยการขังปลาในเมแทบอลิซึมแชมเบอร์และบังคับให้ปลากินอาหาร จากนั้นจึงเก็บมูลปลา มีการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา โดยใช้สมการ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน} - \text{ปริมาณอาหารที่ขับออกมาในมูลปลา}}{\text{ปริมาณอาหารที่ปลากิน}} \times 100$$

2. วิธีอ้อม (indirect method) เป็นการใช้อินดิเคเตอร์หรือเครื่องหมาย (indicator or marker) เติมไปในอาหาร แล้วหาสัดส่วนของสารอาหารต่ออินดิเคเตอร์ที่มีในอาหารและในมูลปลา สมการที่ใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาด้วยวิธีการนี้ คือ (Lovell, 1988)

$$\text{ประสิทธิภาพการย่อย (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{\% อินดิเคเตอร์ในอาหาร}}{\text{\% อินดิเคเตอร์ในมูล}} \times \frac{\text{\% สารอาหารในมูล}}{\text{\% สารอาหารในอาหาร}} \right) \times 100$$

ในทางปฏิบัติไม่สามารถวัดปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำกินได้โดยตรง จึงต้องใช้วิธีการวัดทางอ้อมโดยผสมสารบ่งชี้หรืออินดิเคเตอร์ (indicator) ในอาหารก่อนให้สัตว์น้ำกิน สำหรับอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ คือ ปลาไม่สามารถย่อยได้ คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เป็นพิษต่อปลา ง่ายต่อการตรวจสอบ และมีอัตราการเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับอาหารที่ปลากิน และจะต้องไม่ทำให้การยอมรับอาหารของสัตว์น้ำเสียไป (Lovell, 1988)

De Silva และ Anderson (1995) แบ่งอินดิเคเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อินดิเคเตอร์ภายนอก (external indicator) เช่น Cr_2O_3, FeO, SiO_2, polypropylene เป็นต้น โดยนิยมใช้ Cr_2O_3 เป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อย

2. อินดิเคเตอร์ภายใน (internal indicator) ใช้สารที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติเป็นอินดิเคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ได้แก่ crude fiber ซึ่งมีเซลลูโลส และลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบหลัก hydrolysis – resistant organic matter ที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ และ hydrolysis –resistant ash ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น mineral ash ที่ทนทานต่อการย่อยด้วยกรด

นอกจากการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิดแล้ว วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลาก็มีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลาด้วย เนื่องจากมูลของปลาอยู่ในน้ำทำให้มูลบางส่วนอาจละลายน้ำ และสารอาหารละลายออกมา เมื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการ พบว่า สารอาหารในมูลมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลามีค่าสูงเกินจริง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีการเก็บมูลที่เหมาะสมกับปลาแต่ละชนิด

วิธีการเก็บมูลปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา (วีรพงศ์, 2536) มีดังนี้

1. การตัดลำไส้ (intestinal dissection) โดยตัดส่วนปลายลำไส้เหนือช่องทวารขึ้นมาประมาณ 2.5 เซนติเมตร หรือมากกว่าเล็กน้อย (ขึ้นกับชนิดของปลา) เนื่องจากเป็นบริเวณที่เสร็จสิ้นการย่อยอาหารแล้ว พร้อมจะขับถ่ายออกนอกตัวปลา

2. การดูดช่องทวาร (anal suction) วิธีนี้มีอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแก้ว (glass cannula) และมีปั๊มดูดอากาศ เพื่อดูดมูลของปลาออกมาจากช่องทวารโดยไม่ต้องฆ่าปลา

3. การรีด (stripping) ทำได้โดยการจับปลามารีดบริเวณท้องและช่องทวารเพื่อให้มูลออกมา

4. การรวบรวมในน้ำ (collection from water column) วิธีนี้ต้องปล่อยให้ปลาถ่ายมูลออกมาตามปกติ แล้วทำการรวบรวมมูลทันที วิธีการเก็บมูลอาจแตกต่างกันไป ตั้งแต่การใช้ผ้าหรือตะแกรงตาถี่รองอยู่ด้านล่างตู้ทดลอง โดยเมื่อปลาถ่ายมูลออกมา ก็สามารถยกผ้าหรือตะแกรงออกหรืออาจใช้สายอากาศพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปดูด หรือกาลักน้ำให้มูลปลาออกมา หรืออาจใช้เครื่องเก็บมูลอัตโนมัติ เป็นต้น

Spyridakis และ คณะ (1989) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บรวบรวมมูลปลา เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลากะพงยุโรป (European sea bass, *Dicentrachus labrax)* โดยเปรียบเทียบการเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่างๆ คือ การตัดลำไส้ การดูดช่องทวารหนัก การรีด และการเก็บรวบรวมมูลปลาจากในน้ำ 3 วิธี คือ เก็บรวบรวมมูลปลาหลังจากให้อาหาร 15 ชั่วโมง (immediate pipetting) การกรองมูล (continuous filtration) และการเก็บรวบรวมโดยใช้อุปกรณ์รวบรวมมูลโดยมูลตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำเป็นวิธีการเก็บมูลที่เหมาะสมต่อการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา เมื่อพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการย่อย

โปรตีน และค่าประสิทธิภาพการย่อยไขมัน (ตาราง 2) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการกรองมีข้อดีเนื่องจากถูกรบกวนน้อยกว่า

ตาราง 2 ประสิทธิภาพการย่อย (apparent digestibility) โปรตีนและไขมัน ของปลาเมื่อใช้การเก็บรวบรวมมูลปลาด้วยวิธีการต่างๆ [1]

วิธีการเก็บรวบรวมมูลปลา	ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน	ประสิทธิภาพการย่อยไขมัน
การรีด	82.5 ± 1.4^{a}	94.1 ± 0.8^{a}
การตัดลำไส้	84.4 ± 0.8^{ab}	95.0 ± 0.4^{ab}
การดูดช่องทวาร	86.6 ± 0.3^{b}	96.3 ± 0.4^{b}
การกรอง	90.4 ± 0.6^{c}	93.0 ± 0.2^{b}
การรวบรวมมูลปลาหลังให้อาหาร 15 ชั่วโมง	90.6 ± 0.3^{c}	97.3 ± 0.2^{b}
การรวบรวมโดยให้มูลปลาตกตะกอนและแยกมูลปลาออกจากน้ำ	94.2 ± 0.1^{d}	97.1 ± 0.3^{b}

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)
ที่มา : Spyridakis และคณะ (1989)

วัตถุประสงค์

1. การทดลองที่ 1 : เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารจากวัตถุดิบพืช 5 ชนิด คือ กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน กากมะพร้าว ข้าวโพด รำละเอียด และมันสำปะหลังป่น

2. การทดลองที่ 2 : เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ให้ผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารที่ดีที่สุดในปลานิลแปลงเพศ (จากการทดลองที่ 1)

3. นำผลที่ได้ไปประยุกต์ในการสร้างสูตรอาหารปลา และศึกษาต้นทุนการผลิต