

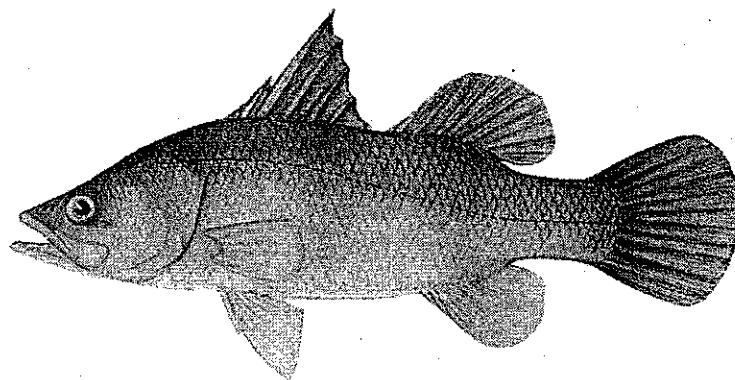
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีววิทยานางประการของปลากะพงขาว

1. ลักษณะทั่วไป

ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lates calcarifer* (Bloch) มีชื่อเรียกสามัญเรียกแตกต่างกันไป เช่น Sea Bass, Giant Sea Perch, Cock-up, Giant Perch, White Sea Bass ประเทศไทยเรียก กะพงขาว กะพงน้ำจืด จัดอยู่ในครอบครัวเซนโตรโพมิดี (Family Centropomidae) (Nelson, 1994) โดยทั่วไปปลากะพงขาวจะมีลำตัวค่อนข้างยาวแบนข้างเล็กน้อย โหลจะโค้งมน ส่วนตัวจะลาดชันและเว้า ขากรรไกรล่างยืดยาวกว่าขากรรไกรบนเล็กน้อย ปากกว้าง ขอบปากบนเป็นแผ่นใหญ่ แยกเป็นแนวตอนต้นและตอนท้ายอย่างชัดเจน ส่วนของปากสามารถยืดหดได้ มีฟันที่มีความละเอียดเรียงอยู่บนขากรรไกรทั้งบนและล่างรวมถึงเพดานปาก ตาจะมีขนาดกลาง ไม่มีเยื่อไขมันหุ้ม แผ่นแก้มมีขนาดใหญ่ ขอบหลังมีหนาม 4 ซี่และเรียงตามด้วยซี่เล็ก ๆ ไปตลอดแนวสันหลัง ด้านบนส่วนหัวและบนแผ่นเหงือกมีเกล็ดขนาดต่าง ๆ กัน เกล็ดบริเวณลำตัวจะมีขนาดใหญ่ ด้านหลังมีสีเทาเงินหรือเขียวปนเทา บริเวณท้องจะมีสีเงินแกมเหลือง บริเวณด้านข้างของลำตัวมีสีเงิน ครีบหลัง ครีบหาง ครีบหน้า ครีบข้าง จะมีสีเทาปนดำบาง ๆ มีครีบหลัง 2 ตอน ตอนแรกจะอยู่ตรงกันครีบท้อง มีก้านครีบแข็ง 7-8 ก้าน เชื่อมต่อด้านข้าง ๆ ส่วนตอนหลังนั้นจะแยกจากตอนแรกอย่างชัดเจน มีก้านครีบแข็ง 1 ก้าน ก้านครีบอ่อนจะมี 10-11 ก้าน ครีบหู และครีบอกยาว ไม่ถึงรูกัน ครีบหน้ามีตำแหน่งใกล้เคียงกับครีบหลังตอนที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 3 ก้าน ก้านครีบอ่อน 7-8 ก้าน ขื่อหางสั้น ครีบหางค่อนข้างกลม เส้นข้างตัวโค้งไปตามแนวสันหลัง มีเกล็ดบนเส้นข้างลำตัว 52-61 อัน (กัลยาขงพฤษยา, 2529)



ภาพที่ 1 ปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) (สมโภชน์ อัคระทวิวัฒน์, 2540)

2. การแพร่กระจาย

ปลากะพงขาวเป็นปลาที่มีขนาดใหญ่โตที่สุดในเขตน้กร่อย โตได้ดีในเขตน้กร่อยและน้ำจืด จัดเป็นปลา 2 น้ำ จะมีการเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ปลากะพงขนาดใหญ่จะอาศัยไม่ไกลจากฝั่งนัก พบมากตามบริเวณปากแม่น้ำลำคลอง ปากทะเลสาบและปากอ่าวที่เป็นป่าไม้ชายเลนที่มีน้ำเค็มท่วมถึง สามารถพบได้โดยทั่วไปในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่พม่า ไทย มาเลเซีย เวียดนาม และชายฝั่งทะเลของประเทศจีน ในประเทศไทยสามารถพบได้ตามชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำใหญ่ ๆ ที่มีทางออกติดกับทะเลที่มีป่าชายเลน เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสงคราม ฯลฯ

ปลากะพงขาวจะผสมพันธุ์และวางไข่ในน้ำทะเลที่มีความเค็มประมาณ 28-32 ส่วนในพันในทะเลที่มีความลึกแล้วไข่จะถูกพัดเข้ามาบริเวณชายฝั่งและฟักออกมา ลูกปลากะพงขาวจะอาศัยอยู่ในน้ำกร่อยและน้ำจืดจนมีอายุได้ 2-3 ปี จึงจะอพยพออกสู่ทะเลเพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป (กัลยา ยงพฤกษา, 2529)

3. การจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน

ปลากะพงขาวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Lates calcarifer* (Bloch) ชื่อสามัญ Giant Sea Perch และมีชื่อพ้องอีกหลายชื่อ เช่น Seabass, White Seabass, Silver Seabass, Giant Perch, Plamer, Cock-up และ Two-Finned Seabass (Rabanal & Soesanto, 1982) โดยได้จัดจำแนกปลากะพงขาวตามลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Phylum Chordata

Sub-Phylum Vertebrata

Sub-Class Teleostomi

Order Percomorphi

Family Centropomidae

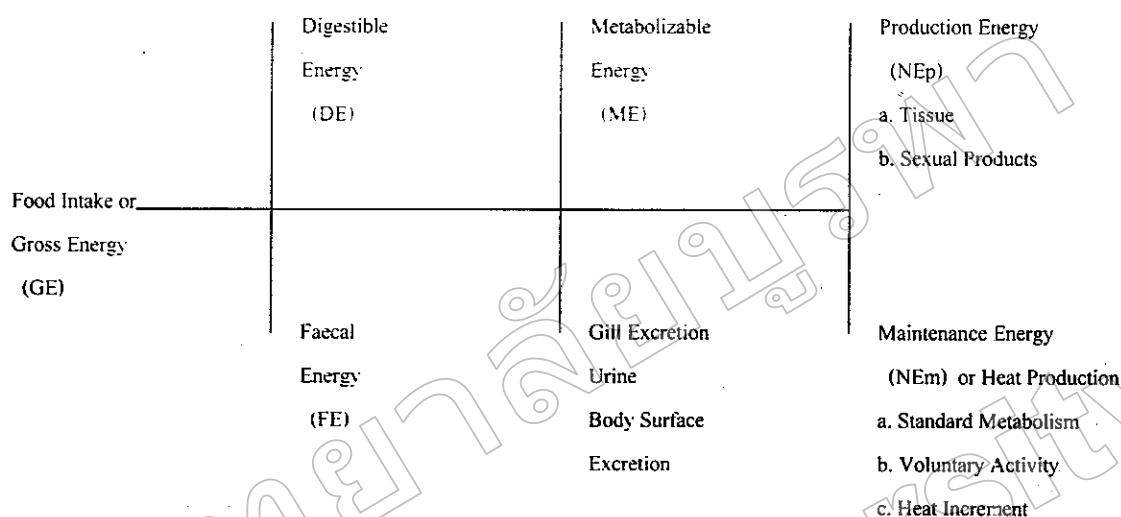
Genus *Lates*

Species *Calcarifer*

ความต้องการอาหารของปลา

ปลาก็คือเป็นเหมือนสิ่งมีชีวิตทั่วไป เมื่อมีการกินอาหารเข้าไปก็จะย่อยอาหารให้เป็นโมเลกุลเล็กลงเพื่อที่ร่างกายจะดูดซึมและขนส่งไปยังเซลล์ต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ โดยสารอาหารแต่ละประเภทจะมีบทบาทต่างกัน

ไป (Lovell, 1989) ในการดำเนินชีวิตประจำวันการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของปลานั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานจากสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน



ภาพที่ 2 การใช้พลังงานจากอาหารเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในร่างกายของสัตว์น้ำ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543)

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานจากอาหารเพื่อกิจกรรมภายในต่าง ๆ ของสัตว์น้ำจะเห็นได้ว่าพลังงานจากอาหาร (Gross Energy- GE) ที่ปลากินจะสูญเสียไปพร้อมกับสิ่งขับถ่ายทางมูล (Faecal Energy) ทางเหงือก (Gill Energy) และทางปัสสาวะ (Urine Energy) ส่วนที่เหลือคือพลังงานที่ใช้ในชีวิตประจำวัน (Maintenance Energy-NEm) การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ (Production Energy-NEp)

พลังงานที่ได้จะถูกนำไปใช้ในชีวิตประจำวันซึ่งพลังงานที่ได้จากอาหารจะต้องมีมากกว่าพลังงานที่ใช้ในชีวิตประจำวันจึงจะเหลือเพื่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ ดังนั้นเพื่อให้ปลาได้รับพลังงานอย่างน้อยเท่ากับพลังงานที่ใช้ในชีวิตประจำวัน จึงจำเป็นต้องให้อาหารปลาในปริมาณที่มากพอ

ความต้องการพลังงานเพื่อการยังชีพและการเจริญเติบโตในปลา นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลาแล้วยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ อีก (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543) คือ

1. อุณหภูมิ น้ำ จะมีผลโดยตรงต่ออัตราการใช้พลังงานของปลา
2. ขนาดของสัตว์น้ำ อัตราการใช้พลังงานของปลาจะแตกต่างกันไปตามน้ำหนักของปลาโดยปลาขนาดเล็กจะใช้พลังงานในอัตราที่สูงกว่าสัตว์น้ำขนาดใหญ่

3. การไหลของน้ำ จะทำให้ปลาเกิดการออกแรงต้านทาน ปลาที่อาศัยในน้ำที่ไหลเชี่ยวจะใช้พลังงานมากกว่าปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำนิ่ง

4. อาหารและปริมาณอาหารที่ให้ จะมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมการกินอาหารของปลา กิจกรรมการกินอาหารของปลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณอาหารที่ให้ นอกจากนั้นการให้ออกซิเจนเพื่อเผาผลาญอาหารก็สูงขึ้นตามปริมาณอาหารที่เพิ่มขึ้น

5. ปัจจัยอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ปลาต้องใช้พลังงานมากขึ้นจากสภาวะพักผ่อนตามปกติ เช่น การสะสมของเสีย การขาดแคลนออกซิเจน การอยู่รวมกันหนาแน่นเกินไป เป็นต้น

ความต้องการโปรตีน

ปลาที่อยู่ในวัยและภาวะต่างกันจะต้องการโปรตีนในแต่ละวันแตกต่างกัน ซึ่งความต้องการโปรตีนนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลักการที่ว่าโปรตีนที่ผ่านการย่อยและดูดซึมแล้วก่อนอื่นจะนำไปซ่อมบำรุง หรือแทนที่โปรตีนที่เสื่อมสภาพแล้วสลายตัวถูกขับออกจากร่างกาย ในปลาตัวเต็มวัยปริมาณโปรตีนที่ขับถ่ายจะเท่ากับปริมาณโปรตีนที่กินถ้าปลาได้รับปริมาณโปรตีนที่มากพอ ภาวะนี้เรียกว่าโปรตีนอยู่ในสภาวะที่สมดุล ภาวะสมดุลของโปรตีนนี้เป็นภาวะที่ร่างกายต้องการโปรตีนเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อยที่สุดเพื่อที่จะช่วยให้ร่างกายรักษาดุลของโปรตีนในร่างกายไว้ได้ ที่ภาวะนี้ปริมาณโปรตีนจะไม่มีเหลือเพื่อการเจริญเติบโต ถ้าหากจะให้มีการเจริญเติบโตจะต้องได้รับโปรตีนมากขึ้น

การที่จะทราบถึงปริมาณโปรตีนที่ปลาควรได้รับในแต่ละวัน นอกจากจะคำนึงถึงชนิดและวัยของสัตว์น้ำแล้ว จะต้องคำนึงถึงระดับโปรตีนและคุณภาพที่ควรมีในอาหาร ซึ่งมีความแตกต่างกันพร้อมด้วยปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวัน นอกจากนี้ อุณหภูมิของน้ำและอาหารตามธรรมชาติก็มีส่วนร่วมกับการต้องการโปรตีนของปลาด้วย ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาคือปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ทำให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตดีที่สุด (เวียงเชื้อโพธิ์หัก, 2528) อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ของโปรตีนในสัตว์น้ำจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของสัตว์น้ำ สิ่งแวดล้อม คุณภาพของโปรตีน ระดับโปรตีนที่เหมาะสม พลังงานที่มีในอาหาร ชนิดของแหล่งพลังงาน และปริมาณอาหารที่กินเข้าไป (Steffens, 1981)

ในการใช้โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตนั้นปลาไม่เพียงจะใช้เฉพาะเพียงโปรตีนเท่านั้น อาหารจะต้องมีพลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตกับความต้องการของปลาด้วย ถ้าอาหารมีโปรตีนเพียงพอกับความต้องการของปลาแล้วมีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันต่ำ อาหารนั้นก็ไม่สามารถทำให้ปลาเจริญเติบโตขึ้นได้ เพราะโปรตีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเสริมกับพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ผลจากการเปลี่ยนโปรตีนไปเป็นพลังงานทำให้จำเป็นต้อง

เพิ่มระดับโปรตีนในอาหารให้สูงขึ้น การเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารทำให้เกิดสารประกอบในโตรเจนที่เป็นพิษในร่างกายของปลาเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นอาหารจึงควรมีปริมาณโปรตีนและพลังงานในอัตราส่วนที่เหมาะสม

ความต้องการไขมัน

ไขมันเป็นแหล่งของพลังงาน เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และฮอร์โมนต่าง ๆ นอกจากนี้แล้วยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซึมอาหาร โดยทำหน้าที่เป็นตัวนำพาสารที่ละลายในไขมัน เช่นวิตามินและคอเรสเตอรอล ไขมันจึงเป็นสารอาหารที่จำเป็นและปลาควรที่จะได้รับอย่างพอเพียง แต่ถ้ามมีการสะสมของไขมันมากเกินไปจะทำให้ปลากลิ่นไหว้ต่ำลง อัตราการทำงานในร่างกายลดลง ใช้พลังงานและกินอาหารน้อยลงและจะทำให้มีน้ำหนักตัวลดน้อยลง นอกจากนี้ การสะสมไขมันในร่างกายจะทำให้เกิดภาวะไตรกลีเซอไรด์และคอเรสเตอรอลสูง ส่วนปลาที่ได้รับไขมันน้อยเกินไปจะทำให้ร่างกายรับพลังงานและกรดไขมันชนิดจำเป็นน้อยลงไปด้วย ร่างกายจึงต้องสรรหาแหล่งพลังงานขึ้นมาใหม่ โดยจากการสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งจากการสลายไขมันที่สะสมอยู่ในร่างกาย โปรตีนจึงถูกรบกวนเผาผลาญเป็นพลังงาน ดังนั้นปลาจึงผอมและมีน้ำหนักลดลง

ปลาจะต้องได้รับกรดไขมันจำเป็นเพื่อนำมาสร้างเป็นฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อทำหน้าที่ให้ความยืดหยุ่นและควบคุมการซึมผ่านของสารอาหารประเภทไขมัน ฟอสโฟลิปิดจากกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงมีความยืดหยุ่นและควบคุมการซึมผ่านของสารดีกว่าฟอสโฟลิปิดจากกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวต่ำ ปลาที่อยู่ในเขตหนาวต้องการกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวสูงกว่า (Watanabe, 1982)

ความต้องการคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งของพลังงานของปลาแต่จะได้น้อยกว่าโปรตีนและไขมัน การที่ปลาได้รับพลังงานจากโปรตีนและไขมันอย่างพอเพียงแต่ขาดคาร์โบไฮเดรตสามารถทำให้ปลาเจริญเติบโตได้อย่างปกติ จึงทำให้เข้าใจว่าคาร์โบไฮเดรตเป็นสิ่งไม่จำเป็นและไม่ให้ความสำคัญในการศึกษาและค้นคว้า แม้ความต้องการคาร์โบไฮเดรตจะยังไม่ชัดเจน แต่ก็มีการศึกษาพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีพลังงานจากโปรตีน ไขมัน และแป้งจะเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีแป้ง นอกจากคาร์โบไฮเดรตจะเป็นแหล่งของพลังงานแล้วยังเป็นแหล่งของสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปลาด้วย เช่น กรดอะมิโนและกรดนิวคลีอิก รวมทั้งยังเป็นแหล่งทดแทนโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มความต้านทานน้ำของอาหาร (เวียงเชื้อโพธิ์หัก, 2543) ปลาในแต่ละชนิดจะมีความต้องการคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์น้ำ ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตก็จะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลาด้วย ปลากิน

พืชจะมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลากินเนื้อ นอกจากประเภทของคาร์โบไฮเดรตแล้วปริมาณของคาร์โบไฮเดรตก็ยังมีผลต่อการย่อยได้เช่นกัน กล่าวคือถ้าอาหารมีคาร์โบไฮเดรตมากจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตลดต่ำลงและส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากไขมันอีกด้วย

ความต้องการวิตามิน

ปลาต้องการวิตามินในปริมาณไม่มากนักแต่ก็ขาดไม่ได้เลย ความต้องการวิตามินในปลาจะแตกต่างกันตามชนิด ขนาด และสุขภาพของปลา สารลดประสิทธิภาพของวิตามินและสัดส่วนของสารในอาหาร ระบบการเลี้ยงและสิ่งแวดล้อม อาหารธรรมชาติเป็นแหล่งของวิตามินที่มีความสำคัญและมีความเพียงพอต่อปลาในการเลี้ยงที่ไม่หนาแน่นจนเกินไป ส่วนการเลี้ยงแบบหนาแน่นจะต้องใส่วิตามินลงไปเสริมด้วย ถ้าเกิดการขาดวิตามินไปแล้วจะทำให้ปลาเบื่ออาหาร ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดำ โตช้าและสีตัวเข้ม (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543)

ความต้องการเกลือแร่

เกลือแร่จะเข้าสู่ปลาน้ำเค็มได้โดยจากการกินน้ำแล้วดูดซึมจากทางเดินอาหาร ส่วนปลาน้ำจืดจะดูดซึมเกลือแร่โดยตรงจากทางเหงือกและผิวหนัง ปริมาณของเกลือแร่ที่ปลาต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือแร่ในน้ำและอาหาร

ตารางที่ 1 แสดงถึงปริมาณขั้นต่ำที่ทำให้สัตว์น้ำหลายชนิดเจริญเติบโตได้ดีและไม่แสดงการขาดเกลือแร่ เนื่องจากเกลือแร่สูญหายยากจึงทำให้ไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณเพื่อป้องกันการขาดเหมือนวิตามิน ส่วนการได้รับเกลือแร่บางชนิดมากเกินไปก็อาจทำให้ปลาเกิดเกิดการสะสมในร่างกายและทำให้เกิดโรคได้ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543)

ตารางที่ 1 ความต้องการเกลือแร่ (มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) ของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543)

เกลือแร่	ปลาเทราท์ (<i>Salmo gairdneri</i>)	ปลาไหลญี่ปุ่น (<i>Anguilla japonica</i>)	ปลาเกะหลวง (<i>Mystus wyckii</i>)	ปลานิล (<i>Cyprinus carpio</i>)	ปลานิล (<i>Tilapia nilotica</i>)	ปลาเรดชิบริม (<i>Chrysophrys major</i>)	กุ้งลายเสือ (<i>Penaeus monodon</i>)
แคลเซียม	3,000	2,700 (19)	500 (14)	280 (20)	-	3,400 (400)	10,000
ฟอสฟอรัส	5,000-10,000	2,900	4,500	6,000-7,000	9,000	6,800	10,000
แมกนีเซียม	250-700	450	400 (1.6)	400 (3.5)	-	-	-
โบรอน	-	-	-	-	-	-	9,000
เหล็ก	25-50	-	30	-	-	150 (0.01)	-
ไอโอดีน	1-5 (2)	-	-	-	-	-	-
ซีลีเนียม	0.15-0.4 (0.4)	-	0.25	-	-	-	-
สังกะสี	15 (110)	-	20 (250)	15-30 (100)	-	-	-
ทองแดง	0.7	-	1.5 (3.3)	3	-	-	60
แมงกานีส	12-13	-	2.4	12-13	35.5 (2.5)	-	-

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือปริมาณ (ppm) ของเกลือแร่ในน้ำ

- คือ ยังไม่มีการทดลอง

ความต้องการสารอาหารของปลากะพงขาว

ในการเลี้ยงปลากะพงขาวนั้นอาหารที่ให้ควรมีโปรตีน 45-55% (วิเชียร สาครเสถ, มะลิ บุญยรัตผลิน, นันทิยา อุ่นประเสริฐ และพรชัย จำเป็ญ, 2531; Cuzon & Fuch, 1988; Sakaras, Boonyaratpalin, Unprasert, & Kumpang, 1988; Sakaras, Boonyaratpalin, & Unprasert, 1989) อาหารที่มีกรดอะมิโนไทโรซีนมากเกินไปจะทำให้ปลากะพงขาวเป็นโรคเกี่ยวกับไตได้

ปลากะพงขาวต้องการไขมันในอาหาร 10-15% และต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมกา 3 ในอาหาร 1-1.72% (สุพจน์ จึงเข้มปิ่น, มะลิ บุญยรัตผลิน และสุพัตร์ ร่อนรา, 2533) ส่วนแหล่งของไขมันนั้นพบว่าทั้งน้ำมันพืชและน้ำมันปลาให้ผลได้ดี น้ำมันตับปลาคอดให้ผลได้ดีกว่าน้ำมันปลาทูน่าและน้ำมันปลาสดตามลำดับ ในส่วนของพืชนั้นน้ำมันถั่วเหลืองจะให้ผลดีกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อย การให้อาหารที่มีปลาปนคุณภาพดีมีโปรตีนสูง 60% ขึ้นไป ถ้าเสริมน้ำมันเหล่านี้เข้าไป 5 % ก็จะมีกรดไขมันที่จำเป็นพอกับความต้องการของปลากะพงขาวได้ (จารุรัตน์ บุรณะพานิชย์กิจ, มะลิ บุญยรัตผลิน, ทะเคชิ วาดานาเบ, ธิดา เพชรมณี และเรณู ยาชีโร, 2532)

ส่วนของคาร์โบไฮเดรตนั้นก็จะมีเซลลูโลสเป็นแหล่งสำคัญ ระดับของเซลลูโลสที่ทำให้ปลากะพงขาวเจริญเติบโตดีที่สุดอยู่ที่ 5.53% ถึงอย่างไรก็ตามอาหารในปลากะพงขาวอาจมีเซลลูโลสได้ถึง 6.58% และแป้งเหนียว 3.82% แหล่งของแป้งควรมาจาก ข้าว ถั่วเขียวและถั่วลิสง ถ้าเป็นแป้งจากถั่วเหลืองไม่ควรเป็นถั่วเหลืองไม่อัดน้ำมัน เพราะจะถูกออกซิไดส์ทำให้น้ำมันเป็นสารพิษ การใช้ถั่วเหลืองไม่อัดน้ำมันผสมในอาหาร 30% จะมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของปลา (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2543)

การขาดวิตามินบางชนิดในปลากะพงขาวจะทำให้เกิดอาการสีตัวคล้ำ เบื่ออาหาร โตช้า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ และตามด้วยโรคที่เกิดจากการขาดวิตามินนั้น ๆ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในอาหาร 1 กิโลกรัมควรจะมีวิตามินบี1 บี6 และวิตามินซีเป็น 2.5, 5-10 และ 500-700 มิลลิกรัม ตามลำดับ Boonyaratpalin (1991) พบว่าความต้องการในแง่วิตามินในเชิงปริมาณความต้องการในอาหารปลากะพงขาว มีอยู่ 2 ชนิด คือ ไพรดอกซิน ปริมาณความต้องการประมาณ 5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และวิตามินซีปริมาณความต้องการคือ 700 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ส่วนวิตามินอื่น ๆ นั้นขณะนี้ยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนถึงความต้องการ อาจใช้วิตามินรวมที่จำหน่ายตามท้องตลาดแทนก่อนเพื่อป้องกันการขาดวิตามิน โดยในอาหาร 1 กิโลกรัมควรใช้วิตามินรวมไม่ต่ำกว่า 0.5% และไม่ควรเกิน 1% ซึ่งการใช้วิตามินรวมในระดับนี้จะทำให้ปลาโตดี รอดตายสูงและผิดปกติน้อย

ปลากะพงขาวจะมีความต้องการเกลือแร่เพียงเล็กน้อย เกลือแร่ที่จำเป็นจะเติมในอาหารอยู่ในรูปเกลือแร่รวมประมาณ 2% อาหารที่ไม่เติมแคลเซียมจะทำให้ปลาโตช้าเล็กน้อย ส่วน

ฟอสฟอรัสที่ปลาดุกต้องการคืออยู่ที่ 0.55-0.65% ซึ่งโมโนโซเดียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด โมโนโซเดียมฟอสเฟตที่เติมไปในอาหารควรอยู่ในระดับ 0.5-1% ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ปลาดุกต้องการ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2543) และฟอสฟอรัสปริมาณที่ต้องการคือ 0.55-0.65% (มะลิ บุญรัตผดลิน และจوزهดี พงศ์มณีรัตน์, 2533)

แหล่งวัตถุดิบของอาหาร

แหล่งวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของปลาประกอบด้วยสารอาหาร โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน เกลือแร่และน้ำในปริมาณแตกต่างกันนั้น เพื่อความสะดวกในการสร้างสูตรอาหารนั้นสามารถแบ่งวัตถุดิบได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. วัตถุดิบอาหารประเภทให้โปรตีน คือ วัตถุดิบที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบตั้งแต่ 20% ขึ้นไป ทั้งโปรตีนที่ได้จากพืชและสัตว์ ที่หาได้ง่ายและนิยมใช้เป็นส่วนผสมของอาหารปลา ได้แก่ ปลาป่น เนื้อป่น เนื้อและกระดูกป่น เลือดป่น นมผง ถั่วเหลืองป่น ถั่วลิสงป่น เป็นต้น
2. วัตถุดิบอาหารประเภทให้พลังงาน คือ วัตถุดิบที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นส่วนใหญ่ มีโปรตีนไม่เกิน 20% วัตถุดิบประเภทนี้ได้จากพืช ที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งความแตกต่างทางคุณค่าทางโภชนาการได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการ (%) ของวัตถุดิบอาหารที่มักนิยมใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์น้ำ (ประเสริฐ สิตะสิทธิ์, มะลิ บุญรัตผลิต และนันทิยา อุ่นประเสริฐ, 2525)

วัตถุดิบอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	เถ้า	กากอาหาร
วัตถุดิบที่ให้โปรตีน:						
ปลาป่น	6.96	49.91	3.34	0.43	30.35	1.00
เนื้อป่น	4.61	59.39	3.55	27.86	3.59	2.50
เนื้อและกระดูกป่น	7.60	50.60	2.00	10.00	29.00	2.00
เลือดป่น	10.70	82.20	0.90	1.90	0.70	0.90
นมผง	2.50	22.10	34.20	22.50	-	-
ถั่วเหลือง	8.42	43.84	36.68	8.29	7.12	6.50
ถั่วลิสงป่น	6.89	42.14	38.31	1.09	11.52	12.00
ยีสต์	77.00	46.80	35.70	1.20	7.20	2.80
วัตถุดิบที่ให้พลังงาน :						
รำข้าว	10.51	14.03	50.11	12.29	9.04	13.00
ปลายข้าว	10.20	12.70	56.60	11.40	6.20	3.50
ข้าวโพด	9.42	9.57	77.64	1.92	1.45	2.50
มันสำปะหลัง	9.32	1.19	87.05	0.41	2.02	-
สาคู	80.56	4.70	9.25	3.41	2.61	-

การที่จะนำวัตถุดิบต่าง ๆ มาผสมในการผลิตอาหารจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะคุณค่าทางโภชนาการและราคาของวัตถุดิบ โดยยึดหลักที่ว่าค่าใช้จ่ายเท่ากันแต่ได้ปริมาณสารอาหารที่ต้องการมากกว่า สารอาหารที่มักจะนำมาพิจารณาในการเลือกใช้คือระดับพลังงาน โปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็น ระดับของสารอาหารเหล่านี้ควรอยู่ในระดับที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือย่อยได้

เอนไซม์ย่อยอาหาร

ในการย่อยอาหารของปลานั้นอาหารจะถูกย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลงเพื่อที่จะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดโดยผ่านทางผนังของทางเดินอาหาร โปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยเป็นน้ำตาล และไขมันจะถูกย่อยเป็นกรดไขมันและกลีเซอริน การย่อยอาหารจะเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหารและลำไส้เท่านั้นเนื่องจากมีเอนไซม์ย่อยอาหารอยู่หลายชนิด เอนไซม์ย่อยอาหารหรือน้ำย่อยที่พบโดยทั่วไปมีดังนี้

เอนไซม์ย่อยโปรตีน

สำหรับปลานั้นจะพบเอนไซม์ย่อยโปรตีนได้ทั้งในกระเพาะอาหารและลำไส้ เช่น เปปซิน (Pepsin) เป็นเอนไซม์ชนิดอะมิโนเปปติเดส (Aminopeptidase) ซึ่งจะพบในกระเพาะอาหารของปลา มีประสิทธิภาพสูงกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม การทำงานของเปปซินจะมีประสิทธิภาพย่อยโปรตีนได้ดีในสภาพที่เป็นกรดโดยกระเพาะอาหารจะหลั่งกรดเกลือออกมา ในลำไส้จะพบเอนไซม์ย่อยโปรตีนหลายชนิด หลังจากผนังของลำไส้และตับอ่อนเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นก็ยังมีย่อยจากตับ ม้าม เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และถุงน้ำดีมาช่วยด้วย เอนไซม์ที่พบมีหลายชนิดคือ ทริปซิน (Trypsin) ไครโมทริปซิน (Crymotrypsin) คาร์บอกซีเปปติเดส (Carboxypeptidase) และอีลาสเตส (Elastase) ลำไส้ปลาจะมี pH อยู่ในช่วง 7-9 เมื่อเกิดการย่อยอาหารก็จะมี pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่บริเวณ Midgut จะมีการเปลี่ยนแปลงของ pH มากที่สุด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอาหารจากกระเพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดกับเอนไซม์ในลำไส้ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่หลั่งกรดเกลือ แต่จะมีการย่อยโปรตีนในลำไส้เกิดขึ้นเท่านั้น และนอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการแสดงออกของเอนไซม์ย่อยอาหารด้วย เช่น ทริปซิน (Rungruangsak-Torrissen et al., 1998)

เอนไซม์ย่อยไขมัน

ท่อทางเดินอาหารของปลาดังแต่กระเพาะอาหาร ไพโลลิคซีคา (Pyloric Caeca) และลำไส้จะพบเอนไซม์ย่อยไขมัน โดยเอนไซม์ที่พบส่วนใหญ่จะเป็นไลเปส (Lipases) ซึ่งจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมัน ส่วนเอสเตอเรส (Esterases) จะย่อยเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยโดยส่วนมากหลั่งออกมาจากผนังลำไส้และตับอ่อน ในปลากินเนื้อจะมีการทำงานของเอสเตอเรสมากกว่าปลากินแพลงก์ตอน ปลากินพืช และปลากินพืชกินเนื้อ ส่วนการทำงานของไลเปสของปลาก็มีประสิทธิภาพสูงกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ไลเปสจะทำงานร่วมกับน้ำดีซึ่งมีกรดโคเลอิก (Cholic Acid) และกรดทอโรเซนโนเดสออกซีโคเลอิก (Taurochenodesoxycholic Acid) เป็นองค์ประกอบจะช่วยย่อยไขมันอย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากกรดเหล่านี้จะรวมกับน้ำดีทำให้ไขมันมีพื้นที่ผิวมากขึ้น เอนไซม์จึงย่อยได้ง่ายขึ้น เอนไซม์ย่อยไขมันในกระเพาะอาหารจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าในลำไส้เพราะกระเพาะอาหารมี pH ต่ำจึงทำได้เพียงบดและผสมไขมันเข้าสู่ลำไส้เพื่อที่จะได้มีการย่อยไขมันต่อไป

เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต

แอลฟาอะไมเลส (α -Amylase) เป็นเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้เป็นกลูโคสและมอลโตส เอนไซม์นี้จะได้จากผนังของลำไส้ ผนังของกระเพาะอาหาร ตับอ่อน ตับ และไพโลลิคซีคาของปลากินพืช และปลากินพืชกินเนื้อ ส่วนปลาที่

กินเนื้อจะหลั่งมาจากตับอ่อนที่เคี้ยวเท่านั้น ดังนั้นปลากินเนื้อจึงมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้น้อยกว่าปลากินพืชเพราะการหลั่งของเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่านั่นเอง ถ้าปลากินเนื้อกินคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตลดลง นอกจากนี้แล้วเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่พบในกระเพาะอาหารและลำไส้ยังมีกลูโคซิเดส (Glucosidases) มอลเตส (Maltase) ซูเครส (Sucrase) แลคเตส (Lactase) และเซลลูเลส (Cellulase) ซึ่งมีความสามารถย่อยอาหารที่มีความสลับซับซ้อนต่าง ๆ กัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาด้านเอนไซม์ย่อยอาหารในปลา

การศึกษาทางด้านเอนไซม์ย่อยอาหารในสัตว์น้ำส่วนมากเน้นการศึกษาเอนไซม์ย่อยโปรตีนเนื่องจากเอนไซม์ย่อยโปรตีนมีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยมีการศึกษาดังแต่ การพัฒนาการของระบบทางเดินอาหาร ไปจนถึงการวัดประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำในหลอดทดลอง

ในการศึกษาด้านการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารของสัตว์น้ำในประเทศไทยได้มีการศึกษาอยู่พอสมควร ส่วนมากสัตว์น้ำที่ศึกษามักจะเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ชะโล่ ลีมหรรณ, ตูพรานี, ชินบุตร, นิลยา, วชิรชัยไพศาล และทวี หอมขง (2528) ได้ทำการศึกษากการเกิดอวัยวะและลักษณะทางเนื้อเยื่อของปลากะพงขาววัยอ่อนพบว่า เมื่อลูกปลากะพงขาวมีอายุ 1 วันสมอง หัวใจ กล้ามเนื้อเริ่มมีการเจริญ ส่วนอวัยวะในระบบย่อยอาหารยังไม่มีมีการเจริญ เมื่อปลามีอายุ 2 วัน ถุงสะสมอาหารจะยุบตัวจะพบตับ ลำไส้ ท่อทางเดินอาหาร รวมทั้งพบตับอ่อนเป็นกลุ่ม ๆ เมื่อลูกปลาอายุได้ 5-6 วัน ถุงสะสมอาหารยุบหมด เริ่มมีการเจริญของถุงลม เมื่ออายุได้ 15 วัน กระเพาะอาหารเริ่มเจริญ ส่วนอวัยวะอื่น ๆ ในระบบย่อยอาหารและอวัยวะอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบนี้จะเจริญจนเหมือนตัวเต็มวัยเมื่อลูกปลามีอายุได้ 23 วันขึ้นไป แต่ Walford and Lam (1993) ศึกษาพัฒนาการของทางเดินอาหารและแอดคิวิตีของเอนไซม์ย่อยโปรตีนของปลากะพงขาวระยะ Larvae และระยะ Juvenile พบว่ากระเพาะอาหารและกล้ามเนื้อหูรูด (Pyrolic Sphincter) ยังไม่ก่อตัวจนกระทั่งอายุ 13 วันหลังจากฟักออกจากไข่ และจะสมบูรณ์เมื่ออายุได้ 17 วัน เช่นเดียวกันกับ คูสิด ดันวิไล และคณะ (2528) ได้ทำการศึกษากการพัฒนาการของลูกปลากะพงขาววัยอ่อน พบว่า เมื่อลูกปลากะพงขาวเข้าสู่ระยะ Flexure ทางเดินอาหารจะพัฒนาควบคู่ไปกับอวัยวะอื่น ๆ การพัฒนาของทางเดินอาหารจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ส่วนในสัตว์น้ำชนิดอื่นได้มีการศึกษา การพัฒนาการของกระเพาะอาหารและการให้อาหารระยะแรกแก่ลูกปลาด้วย ดาราวรรณ สิทธาจารย์ (2538) พบว่ากระเพาะอาหารของลูกปลาเป็นรูป U (U Shape) และมี Pyrolic

Cacca อยู่ระหว่างกระเพาะอาหาร จะมีการพัฒนารูปร่างของกระเพาะอาหารเหมือนตัวเต็มวัยเมื่อมีอายุได้ 19 วัน เมื่อทำการตัดเนื้อเยื่อมาศึกษาพบว่าเยื่อกระเพาะอาหารแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ Mucosa, Submucosa, Muscularis และ Serosa กระเพาะอาหารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ กระเพาะอาหารส่วนต้น (Fundic) ซึ่งเป็นส่วนที่มี Gastric Gland และกระเพาะอาหารส่วนท้าย (Pyloric) เหมือนกับในปลากะพงขาวและปลา *Clarias lazera* และพบว่าลูกปลาม้าจะเริ่มมีการพัฒนาของ Gastric Gland เมื่อลูกปลามีอายุได้ 16 วัน และจะมีการพัฒนามากเมื่ออายุ 20 วันขึ้นไป เนื่องจากจะเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอาหารจากไรแดงเป็นอาร์ทีเมียซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของกระเพาะอาหารทั้งภายนอกและภายในเพื่อให้เหมาะสมกับอาหารที่กินเข้าไป แต่ในการศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาการพัฒนาการของน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยอาหารจำพวกโปรตีนและ pH ในกระเพาะอาหารจึงทำให้ไม่ทราบได้ว่าลูกปลาม้าจะเริ่มผลิตน้ำย่อยจาก Gastric Gland

ในการศึกษาขั้นต่อมาคือการศึกษาด้านการทำงานและคุณสมบัติของเอนไซม์ย่อยโปรตีน Bassompierre, Oatenfeld, McLean, and Torrisen (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองและการเจริญเติบโตของปลา Atlantic Salmon ที่มีความแตกต่างกันของ Trypsin Isozyme พบว่ามีรูปแบบของ Iso-Trypsin 3 รูปแบบคือ รูปแบบ 1, รูปแบบ 2 และรูปแบบ 2' ซึ่งปลา Salmon ที่มีรูปแบบเป็น 2' จะมีอัตราการเติบโตจำเพาะน้อยกว่าแบบที่ 1 และ 2 ส่วนการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองโดยใช้เนื้อปลาป่น 3 คุณภาพ คือ คุณภาพสูง กลาง และต่ำ ตามลำดับ พบว่าในรูปแบบที่ 1 สามารถย่อยเนื้อปลาป่นที่มีคุณภาพสูงมากที่สุด รองลงมาก็เป็นเนื้อปลาป่นคุณภาพกลางและเล็กตามลำดับส่วนในรูปแบบ 2 และ 2' ไม่สามารถแบ่งได้อย่างชัดเจน

ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์น้ำพบว่าที่อวัยวะต่างกันจะมีสัดส่วนของเอนไซม์ย่อยอาหารคล้าย ๆ กัน โดย Torrisen (1984) ได้ทำการศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของโปรติเอสในทางเดินอาหารของปลา Atlantic Salmon และปลา Rainbow Trout พบว่าคุณสมบัติของเอนไซม์ที่แยกได้จากกระเพาะอาหารของปลา 2 ชนิดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน และจากลำไส้เล็กก็จะคล้ายคลึงกันด้วยแต่คุณสมบัติของเอนไซม์ในปลาชนิดเดียวกันที่สกัดได้จากกระเพาะอาหารจะแตกต่างกันไปจากที่สกัดได้จากลำไส้เล็ก สอดคล้องกับการศึกษาของอัญชลี คงสมบูรณ์ (2530) ซึ่งได้ศึกษารูปแบบเอนไซม์ในทางเดินอาหารของลูกปลากะพงขาวซึ่งเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิดกัน โดยศึกษารูปแบบการพัฒนาการผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร (โคติเนส ทริปซิน เปปซิน และอะไมเลส) ในทางเดินอาหาร 3 ส่วน คือ กระเพาะอาหาร (หลอดอาหาร-กระเพาะอาหาร) ลำไส้ (ไส้ตั้ง-ทวารหนัก) และส่วนของทางเดินอาหารทั้งหมด (หลอดอาหาร-ทวารหนัก) พบว่า เอนไซม์โคติเนสทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 4.5-5.5 และมีรูปแบบการสังเคราะห์เอนไซม์คล้ายคลึงกันใน

ทุกส่วนของทางเดินอาหารและไม่สัมพันธ์กับอายุของลูกปลา ส่วนทริปซินจะตรวจพบแอกติวิตีได้ในส่วนของลำไส้เท่านั้นและทำงานได้ดีที่ PH 8-9 โดยมีรูปแบบการพัฒนาของเอนไซม์สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและความเข้มข้นของโปรตีนในทางเดินอาหาร จะพบเปปซินแอกติวิตีได้ทั้ง 2 ส่วนของทางเดินอาหาร แต่จะมีค่าสูงที่บริเวณกระเพาะอาหาร ส่วนเอนไซม์อะไมเลสไม่สามารถตรวจพบแอกติวิตีได้เลยในทุกส่วนของทางเดินอาหารตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ปัจจัยต่าง ๆ ทั้งจากอายุ อิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรม จะมีผลต่อการผลิตเอนไซม์ย่อยอาหารของสัตว์น้ำ Kuz'mina (1996) ทำการศึกษาอิทธิพลของอายุต่อแอกติวิตีของเอนไซม์ย่อยอาหารของปลาน้ำจืด พบว่าคาร์โบไฮเดรสแอกติวิตีจะมีความผันแปรมากกว่าแอกติวิตีของโปรติเอสและอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสตามอายุที่เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการกินอาหารของปลา โดยปลาที่ล่าเหยื่อจะมีแอกติวิตีของ Amylase และ Sucrase ลดลงแต่จะมีแอกติวิตีของ Protease เพิ่มขึ้น และมีการศึกษาเกี่ยวกับเอนไซม์ย่อยอาหารในลูกปลาระยะ Larvae และระยะ Juvenile โดย Kolkovski (2001) เพื่อที่จะนำมาประยุกต์เป็นสูตรอาหาร พบว่าการเจริญของระบบทางเดินอาหารตามอายุปลานั้นสังเกตได้จากอาหารที่กินเข้าไป คุณลักษณะทางชีวเคมี และการนำไปใช้ ในการเริ่มกินอาหารของลูกปลา ทางเดินอาหารของปลาแต่ละชนิดจะมีเอนไซม์ย่อยอาหารที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเมตาโบลิซึม (การย่อยอาหาร, การดูดซึมอาหาร และการสะสมของอาหาร) ของโมเลกุลต่าง ๆ เช่น โปรตีน, ลิพิดและไกลโคเจน เอนไซม์แอกติวิตีมีค่าเมื่อเทียบกับตัวเต็มวัย เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีการพัฒนาในช่วงที่มีการเจริญเติบโตโดยจะขึ้นกับชนิดของปลาและอุณหภูมิที่เลี้ยง การกินอาหารมีชีวิตของปลาวัยอ่อนจะช่วยให้กระบวนการย่อยอาหาร อาหารมีชีวิตประกอบไปด้วยนิวโรเปปไทด์และปัจจัยการเจริญเติบโต (Growth Factor) ที่ช่วยในการย่อยอาหาร สารเหล่านี้มักไม่ได้ผสมลงไปในสูตรอาหารเม็ด ส่วนมากอาหารเม็ดที่อุดมไปด้วยโปรตีนและส่วนประกอบต่าง ๆ นั้นย่อยยาก ด้วยเหตุนี้การเติมเอนไซม์ย่อยอาหารลงไปในการอาหารเม็ดจะทำให้ลูกปลานำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าแต่ยังไม่ดีพอเมื่อเทียบกับอาหารมีชีวิต ต่อมาได้มีการนำ Pre Hydrolysed Protein ผสมลงในอาหาร ผลที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของ Hydrolysate และอายุของปลาวัยอ่อน ส่วนผลจากการเพิ่มนิวโรเปปไทด์ลงไปในการอาหาร เช่น Bombesin จะทำให้มีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนระดับของโปรตีนในการอาหารก็มีผลต่อแอกติวิตีของเอนไซม์ย่อยอาหารในสัตว์น้ำเช่นในกุ้ง *Penaeus vannamei* ได้มีการทดลองโดย Moullac, Klein, Sellos and Wormhoudt (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ย่อยอาหารจำพวกโปรตีน โดยดูจากระดับของแอกติวิตีของเอนไซม์ การทดลองขั้นแรกใช้เวลามากกว่า 20 วันในการเพิ่มระดับเคซีนจาก 25 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น

48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบ่งและส่วนประกอบอื่น ๆ จะไม่เพิ่มขึ้น พบว่าเอนกัตวิตีของไคโมทริปซินจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แอคโนติวิตีของอะไมเลสจะลดลงเมื่อปริมาณเคซีนเพิ่มขึ้น ในการทดลองชุดเดียวกันนี้ยังมีการเปรียบเทียบแอคโนติวิตีของไคโมทริปซินโดยใช้โปรตีนจากเจลาติน เนื้อปลาหมึกและเนื้อปลาพบว่าแอคโนติวิตีสูงสุดของไคโมทริปซินจะอยู่ที่ปลาหมึกและน้อยสุดในเจลาติน

อายุก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อแอคโนติวิตีของเอนไซม์ย่อยอาหาร วิชัย วัฒนกุล และคณะ (2540) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาน้ำย่อยในลูกปลากะรังวัยอ่อน *Epinephelus coioides* ที่มีอายุ 2-60 วัน โดยใช้อาร์ทีเมีย โรติเฟอร์และเนื้อปลาสดเป็นอาหาร พบว่าน้ำย่อย Trypsin, Chymotrypsin, Carboxypeptidase A และ Alpha Amylase สามารถตรวจวัดได้เมื่อลูกปลามีอายุได้ 2 วัน ส่วน Pepsin เริ่มตรวจวัดได้เมื่อลูกปลาอายุ 8 วัน ส่วนความว่องไวจำเพาะ (Specific Activity) ของน้ำย่อยในลูกปลาที่มีอายุ 2-22 วันไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตามการเจริญเติบโต เมื่อลูกปลามีอายุมากกว่า 30 วันจะมีความว่องไวจำเพาะของน้ำย่อยเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโต เมื่อลูกปลามีอายุได้ 38 วันความว่องไวจำเพาะของน้ำย่อยทั้ง 5 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น 2.4-132.5 เท่าของความว่องไวจำเพาะที่วัดเมื่อลูกปลาอายุ 2 วัน

นอกจากนี้ ยังพบว่าแสงมีอิทธิพลต่อแอคโนติวิตีของเอนไซม์ย่อยอาหารของสัตว์น้ำ โดย Cuvier-Peres, Jourdan, Fontaine and Kestemont (2001) ได้ทดลองเลี้ยงปลา *Dicentrarchus labrax* 3 สัปดาห์โดยดูผลของความเข้มแสงต่อการเลี้ยง (การเจริญเติบโต อัตราการรอด และอัตราการกินกันเอง) และดูความสัมพันธ์กับแอคโนติวิตีของเอนไซม์ย่อยอาหาร (เปปซิน, ทริปซิน, ไคโมทริปซินและอะไมเลส) ในปลาระยะ Post-Larvae ความเข้มแสงที่ใช้มี 5, 50, 100 และ 400 Lux ใช้การทดลอง 3 ซ้ำต่อ 1 ความเข้มแสง ให้อาหารปลา 8 มื้อต่อ 1 วันในเวลากลางวัน ทำการเก็บตัวอย่างปลาในวันที่ 0, 7, 14 และ 21 เพื่อติดตามการเจริญเติบโต, เอนไซม์แอคโนติวิตีและความต้องการสารอาหาร ผลพบว่าความเข้มแสงไม่มีผลต่ออัตราการรอด การกินกันเอง และการเจริญเติบโต ความเข้มแสงในช่วงที่ไม่ได้กินอาหารมีผลต่อแอคโนติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินโดยที่ความเข้มแสง 5 Lux แอคโนติวิตีจะต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแอคโนติวิตีของอะไมเลสไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง ความเข้มแสงที่เหมาะสมในการเลี้ยงอยู่ที่ความเข้มแสงระดับกลาง (50-100 Lux)

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีการประยุกต์การศึกษาทางด้านเอนไซม์ย่อยอาหาร เช่น การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการพื้นฐานในการวัดประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองโดยศึกษาในเอนไซม์ย่อยอาหารที่สกัดออกมาจากระบบทางเดินอาหารของปลาการ์ตูนมาเปรียบเทียบกับ

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารจากวิธีใช้อินดิเคเตอร์ พบว่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารทั้งแบบย่อยในหลอดแก้วและแบบในตัวปลาจะมีค่าและแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน (Eid & Matty, 1989)

การหาวัตถุดิบทดแทนปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำ

ในการหาวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำทดแทนจำเป็นต้องทราบระดับโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสม Catacutan and Coloso (1995) ได้ศึกษาผลของโปรตีนต่อการเจริญเติบโต การรอด และสารประกอบในร่างกายของปลากะพงขาว (*L. cacarifer*) ในระยะ Juvenile การทดลองจะหาอัตราส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (P/E) ที่เหมาะสมของปลากะพงขาวระยะ Juvenile ทดสอบโดยใช้การทดลองแบบ 3 x 3 Fctorial โปรตีนที่ใช้มี 3 ระดับคือ 35 42.5 หรือ 50 เปอร์เซ็นต์ ลิปิดที่ใช้มี 3 ระดับคือ 5 10 หรือ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้คาร์โบไฮเดรตคงที่อยู่ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ กำหนดให้ค่าของอัตราส่วน P/E อยู่ในช่วง 104-157 มิลลิกรัมโปรตีน ต่อกิโลแคลอรี เลี้ยงปลาในตู้ขนาด 60 ลิตร ความเต็ม 32 ส่วนในพัน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 54 วัน พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 50 เปอร์เซ็นต์ ลิปิด 15 เปอร์เซ็นต์จะมีน้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์จะได้เนื้อที่น้อยที่สุด ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่จำกัดลิปิดที่ 5 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ครีบกี้แดงผิดปกติซึ่งบอกได้ว่าเกิดจากการขาดกรดไขมันจำเป็น ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์และลิปิด 5 เปอร์เซ็นต์จะมีไขมันในร่างกายน้อยที่สุดแต่จะมีองค์ประกอบของเนื้อและน้ำสูง อาหารที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปลากะพงขาวระยะ Juvenile คือ อาหารที่มีโปรตีน 42.5 เปอร์เซ็นต์ ลิปิด 10 เปอร์เซ็นต์เป็นปริมาณที่เหมาะสมกับปลากะพงขาววัยอ่อน ใกล้เคียงกับวิเชียร สาครศ และคณะ (2532) ได้ศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในอาหารปลากะพงขาวโดยทดลองเลี้ยงด้วยอาหารผสมและอาหารเม็ดแบบเปียกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้อาหารผสมที่มีโปรตีน 3 ระดับคือ 45, 48 และ 51 เปอร์เซ็นต์ แต่ละระดับมีไขมัน 13 และ 18 เปอร์เซ็นต์ รวมเป็นอาหาร 6 สูตร และมีอาหารผสมอีก 1 สูตร ซึ่งมีระดับโปรตีนและไขมันเป็น 54 และ 13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเป็นอาหารเปรียบเทียบ ทำการทดลองในบ่อซีเมนต์ขนาด 35 x 40 x 32 ซม. โดยปล่อยปลาลงบ่อละ 15 ตัว ผลการทดลองพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อศึกษาหาความเหมาะสมของระดับโปรตีน โดยพิจารณาจากอัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย Protein Retention และ Protein Efficiency Ratio พบว่าอาหารที่มีระดับโปรตีน 46.71 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 15.84 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมสำหรับปลากะพงขาวที่สุด โดยมีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.65 : 1 มีค่า Protein Retention เท่ากับ 27.82 และค่า Protein Efficiency Ratio เท่ากับ 1.44

ในการศึกษาการอนุบาลลูกปลากะพงขาวด้วยอาหารที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ในระบบน้ำไหลเวียนแบบปิด อาหารที่ใช้คือ เนื้อปลาสด เนื้อปลาผสมวิตามิน ปลาเปรี้ยวผสมวิตามิน และเหยื่อเป็นโดยเลี้ยงถึงไฟเบอร์กลาสขนาด 40 ลิตร จำนวน 16 ใบเป็นเวลา 70 วัน ผลที่ได้พบว่าอาหารเนื้อปลาผสมวิตามิน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่ใช้อนุบาลลูกปลากะพงขาวได้ดีที่สุด เพราะทำให้มีอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และผลผลิตสูงสุดด้วย ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยเหยื่อเป็นนั้นให้ผลดีในอันดับรองลงมา แต่เมื่อเลี้ยงลูกปลาไปอีกระยะเวลาหนึ่งจะสร้างอุปนิสัยการกินกินเอง ทำให้ลูกปลามีการรอดตายต่ำ ลูกปลาที่เลี้ยงด้วยเนื้อปลาสดจะมีการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำและเกิดการผิดปกติของการสร้างกระดูกบริเวณขากรรไกรบนและล่าง ส่วนลูกปลาที่อนุบาลด้วยปลาเปรี้ยว นั้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำที่สุด (กำชัย ลาวัณยวุฒิ, 2526)

นอกจากนี้ยังมีการหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น การใช้มูลไก่ไข่แห้งเป็นแหล่งทดแทนโปรตีนและพลังงานบางส่วนในอาหารปลาดุกลูกผสม โดยเติมมูลไก่ไข่แห้งลงไปในอาหารหลักที่มีเคซีน เจลลาติน ปลาป่น กากถั่วเหลือง และปลายข้าวในอัตราร้อยละ 0, 12, 24 และ 36 โดยเลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าปลาที่อยู่ในกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีมูลไก่ไข่แห้งเพิ่มขึ้น ปลาที่ได้รับอาหารที่มีมูลไก่ไข่แห้งในอัตราร้อยละ 0, 12 และ 24 % มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่ต่างกันรวมไปถึงอัตราการแลกเนื้อและประสิทธิภาพโปรตีนในอาหารด้วย ส่วนอัตราการรอด ปริมาณเนื้อ ปริมาณโปรตีน และโปรตีนที่เพิ่มขึ้นในตัวปลาพบว่าทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับปริมาณไขมันและพลังงานในตัวปลานั้นจะลดลงไปตามปริมาณมูลไก่ไข่แห้งที่เพิ่มขึ้น ปริมาณมูลไก่ไข่แห้งที่เหมาะสมสำหรับที่จะนำมาผสมลงในอาหารลูกปลาดุกนั้นไม่ควรเกินร้อยละ 24 เพื่อทดแทนสัดส่วน โปรตีนและพลังงานโดยไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราแลกเนื้อและอัตราการรอดแตกต่างกัน (เจลิยว บุญมัน, 2536) และนอกจากนี้ยังมีการใช้ถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลานิลสีแดง โดย วิจิตรา กุลดงวัฒนา (2529) ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองทำอาหาร 4 สูตร ผลที่ได้พบว่าปลานิลสีแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากปลาป่นมีการเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการรอดตายพบว่าไม่แตกต่างกันในทุกสูตรอาหาร นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่นในเปอร์เซ็นต์มากขึ้น ปลานิลแดงก็จะเจริญเติบโตน้อยลง แสดงว่าในกากถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางตัวไม่เพียงพอต่อปลานิลแดงที่จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต