

### คุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาสวายหนุระยะวัยอ่อน

*Helicophagus leptorhynchus* Ng & Kottelat, 2000

Characterization of digestive enzymes in juvenile shark catfish

*Helicophagus leptorhynchus* Ng & Kottelat, 2000

จันทกานต์ นุชสุข<sup>1</sup> อรุณี อิงคากุล<sup>1</sup> อุทัยวรรณ โกวิทวิ<sup>2</sup> อรพันธ์ จินตสถาพร<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3</sup>ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### บทคัดย่อ

ปลาสวายหนุ *Helicophagus leptorhynchus* เป็นปลาน้ำจืดขนาดเล็ก ปัจจุบันผลผลิตของปลาชนิดนี้ทั้งหมดได้จากการทำประมงจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยยังไม่มี การเพาะเลี้ยง การศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาสวายหนุจึงนับว่ามีบทบาทสำคัญ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาสวายหนุในเชิงพาณิชย์ต่อไป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหาร 4 ชนิด คือ อะไมเลส โปรตีนเอส ไลเปส และเซลลูเลส จากปลาสวายหนุ *H. leptorhynchus* ระยะวัยอ่อน 3 กลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะเปลี่ยนแปลง pH 2-12 และอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ผลจากการศึกษาพบว่าปลาสวายหนุระยะวัยอ่อนสามารถแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสสูงสุดรองลงมาคือ โปรตีนเอส อะไมเลส และเซลลูเลส ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ย่อยอาหารแต่ละชนิดที่แสดงออกในตัวอย่งทั้งสามกลุ่มมีรูปแบบคล้ายกัน แต่กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ย่อยอาหารในกลุ่ม 3 สูงกว่ากลุ่ม 1 และ 2 อาจเนื่องมาจากตัวอย่างปลาแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันทางด้านพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ เช่น ชนิดและปริมาณอาหารที่แตกต่างกัน เป็นต้น

#### Abstract

Shark catfish, *H. leptorhynchus* is a scaleless freshwater fish. At present, the yield of shark catfish comes totally from riparian fisheries because the species has not yet been cultured. Characterization of digestive enzymes should provide critical information prerequisite for the development of artificial feed formulation for commercial culture of the species. The aim of this study was to determine the activities of four digestive enzymes, amylase, proteinases, lipase and cellulase, from three groups of juvenile shark catfish *H. leptorhynchus* under various pHs 2-12 and temperatures 20-80 °C. The results indicated specific activities of digestive enzymes in juvenile shark catfish in

decreasing order were lipase, proteinases, amylase and cellulase respectively. The characteristics of digestive enzymes in three sample groups were similar but group 3 showed higher specific activities than group 1 and 2 indicating that they might be from different genetic population or from different environmental habitat with different types and amount of feed.

### คำนำ

ปลาสรวยหนู *H. leptorhynchus* จัดอยู่ในวงศ์ปลาสรวย เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีรสชาติดี เป็นที่ต้องการของตลาด และมีคุณค่าทางอาหารสูง นอกจากนี้ปลาน้ำจืดขนาดเล็กยังมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นปลาสรวยงามพื้นเมืองเพื่อส่งออกตลาดต่างประเทศ อย่างไรก็ตามผลผลิตของปลาชนิดนี้ทั้งหมดได้จากการทำประมงจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยยังไม่มีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ พบว่าในประเทศไทยมีการกระจายพันธุ์บริเวณลุ่มแม่น้ำโขงและแม่น้ำเจ้าพระยา (Ng & Kottelat, 2000) โดยพบชุกชุมในแม่น้ำมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งลุ่มแม่น้ำมูลตอนล่าง ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของปลาน้ำจืดมากที่สุด ในลุ่มแม่น้ำมูล เนื่องจากมีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เฉพาะตัว นอกจากนี้พื้นที่ของแม่น้ำมูลหลายพื้นที่มีลักษณะเป็นทรายหรือดินปนทราย ซึ่งพบหอยฝาเดียว (gastropod) และหอยสองฝา (bivalve) อยู่อย่างชุกชุมถือเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาสรวยหนู

ปัจจุบันพบว่าปลาสรวยหนูที่นำมาจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งเป็นปลาที่จับได้จากธรรมชาติทั้งสิ้น มีปริมาณลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต เนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างการนำมาบริโภคกับการเพิ่มปริมาณตามธรรมชาติ ดังนั้น การเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์นี้จึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนประชากรปลาสรวยหนู แต่ปัญหาที่สำคัญของการเลี้ยงพบว่ายังขาดข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับความต้องการสารอาหารที่แท้จริงและความสามารถในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบอาหารชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียเปลืองหากใช้วัตถุดิบอาหารที่สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ โดยเฉพาะสัตว์ในแต่ละวัยมีความต้องการสารอาหารที่แตกต่างกันจึงต้องมีการทดลองเลี้ยงสัตว์เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารสัตว์และสูตรอาหารที่เหมาะสมซึ่งในทางปฏิบัติแม้เป็นสิ่งจำเป็นแต่มีขั้นตอนวิธีการยุ่งยาก ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง และที่สำคัญ ถ้าอาหารที่ใช้เลี้ยงไม่เหมาะสมก็จะส่งผลต่อการพัฒนาไปเป็นตัวเต็มวัย อัตราการรอดตาย และอัตราการเจริญเติบโต การพัฒนาความรู้พื้นฐานทางชีวเคมีของการย่อยอาหาร โดยศึกษาสมบัติและกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนและการเจริญเติบโตของสัตว์จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะสัตว์ขนาดเล็กหรือสัตว์ระยะวัยอ่อนซึ่งมีพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารยังไม่สมบูรณ์ ความสามารถในการย่อยและการดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตยังทำได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษากิจกรรมและคุณลักษณะของเอนไซม์อะไมเลส โปรตีนเนส ไลเปส และเซลลูเลส ซึ่งสกัดจากปลาสรวยหนู *H. leptorhynchus*

ระยะวัยอ่อนในสภาวะเปลี่ยนแปลง pH และอุณหภูมิ เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาความสามารถของเอนไซม์ในการย่อยวัตถุดิบอาหารชนิดต่าง ๆ สำหรับประกอบสูตรอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงปลาสร้อยในเชิงพาณิชย์ต่อไป

### วิธีการทดลอง

#### การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างปลาสร้อย *H. leptorhynchus* Ng & Kottelat, 2000 ระยะวัยอ่อน ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำมูลตอนล่าง บริเวณสถานีเก็บตัวอย่าง จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นบริเวณที่พบปลาสร้อยตลอดทั้งปี โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 4 ตัว มีขนาดความยาวมาตรฐานเฉลี่ย  $5.1 \pm 0.6$  เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย  $2.7 \pm 0.9$  กรัม โดยแต่ละกลุ่มตัวอย่างคัดเลือกปลาที่มีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน

#### การสกัดเอนไซม์จากระบบทางเดินอาหาร

สกัดเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลาสร้อยระยะวัยอ่อน โดยบดละเอียดปลาสร้อยทั้งตัวด้วย homogenizer ขณะที่ยังแช่ในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว  $10,000 \times g$  นาน 20 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสที่อุณหภูมิ  $-80$  องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็น crude enzyme extract สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมและตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร

#### การศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหาร

1. ศึกษากิจกรรมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในสภาพเปลี่ยนแปลง pH 2-12 และอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ Areekijseret et al. (2004) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Bernfeld (1951) เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของน้ำตาลมอลโทส
2. ศึกษากิจกรรมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์โปรติเนสในสภาพเปลี่ยนแปลง pH 2-12 และอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ Areekijseret et al. (2004) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Vega-Villasante et al. (1995)
3. ศึกษากิจกรรมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในสภาพเปลี่ยนแปลง pH 2-12 และอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ Areekijseret et al. (2002) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Nirpjit and Kaur (2002)
4. ศึกษากิจกรรมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสในสภาพเปลี่ยนแปลง pH 2-12 และอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ Areekijseret et al. (2002) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Mendels et al. (1976) เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

5. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนใน crude enzyme extract ใช้วิธีของ Lowry et al. (1951) เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน bovine serum albumin (BSA) ซึ่งใช้เป็นสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

6. ข้อมูลจากการศึกษากิจกรรมและคุณลักษณะของเอนไซม์อะไมเลส โปรตีนเอส ไลเปส และเซลลูเลสนำมาหาค่าเฉลี่ย (average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารจากระบบทางเดินอาหารของปลาสร้อยหุระยะวัยอ่อนใช้วิธีบดละเอียดทั้งตัว เนื่องจากอวัยวะย่อยอาหาร ได้แก่ เฮพาโตแพนครีเอต (hepatopancreas) กระเพาะอาหารและลำไส้มีขนาดเล็กมากไม่สามารถตัดแยกออกได้ จึงใช้วิธีเตรียมตัวอย่าง crude enzyme extract โดยปราศจากการเติมบัฟเฟอร์ ดังนั้นผลการวิเคราะห์กิจกรรมและคุณลักษณะของเอนไซม์จากปลาสร้อยหุระยะวัยอ่อนจึงเป็นคุณลักษณะที่ปรากฏโดยรวมทั้งตัว ซึ่งไม่สามารถแยกย่อยอาหารได้เหมือนกับปลาสร้อยหุระยะตัวเต็มวัย (จันทกานต์ และคณะ, 2549)

### คุณลักษณะของเอนไซม์อะไมเลส

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่สกัดจากปลาสร้อยหุระยะวัยอ่อนทั้งตัวในสภาวะเปลี่ยนแปลง pH ตั้งแต่ 2-12 ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 1ก) พบว่ารูปแบบของเอนไซม์มีทั้งเอสดีอะไมเลสแสดงกิจกรรมที่ pH 6 และ แอลคาไลน์อะไมเลสแสดงกิจกรรมที่ pH 8 และ 11 ตามลำดับ เมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่สกัดจากปลาสร้อยหุระยะวัยอ่อนในสภาวะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-80 องศาเซลเซียส ที่ pH 6 (ภาพที่ 1ข) พบว่าเอสดีอะไมเลสแสดงค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ 30 องศาเซลเซียส และแสดงกิจกรรมได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส แม้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสที่แสดงออกในตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีรูปแบบคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยเอสดีอะไมเลสและแอลคาไลน์อะไมเลส โดยเอสดีอะไมเลสมีกิจกรรมจำเพาะสูงกว่าแอลคาไลน์อะไมเลส แต่พบว่าการจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลสในกลุ่ม 3 สูงกว่ากลุ่ม 1 และ 2 ประมาณ 1 เท่าทั้งเอสดีอะไมเลสและแอลคาไลน์อะไมเลส ซึ่งอาจเนื่องมาจากตัวอย่างปลาแต่ละกลุ่มได้จากตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่างกันทำให้มีความแตกต่างกันทางด้านสภาพแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ เช่น ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่มีอยู่ในบริเวณนั้นหรือพันธุกรรมที่แตกต่างกันของปลาแต่ละกลุ่มจากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในสภาวะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ pH 6 ซึ่งมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดพบว่า เอสดีอะไมเลสประกอบด้วย 3 ไอโซฟอร์ม ซึ่งแสดงกิจกรรมได้ที่อุณหภูมิ 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับปลาสร้อยหุระยะตัวเต็มวัย จากการทดลองของจันทกานต์ และคณะ (2549) พบว่าค่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลสของปลาสร้อยหุระยะตัวเต็มวัยสูงกว่าระยะวัยอ่อนประมาณ 6-7 เท่า และแสดงกิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ pH 7 ซึ่งมีลักษณะ



พบว่าแอลคาไลน์โปรตีนเอนไซม์อย่างน้อย 2 ไอโซฟอร์ม ซึ่งไอโซฟอร์มที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ 40 องศาเซลเซียสจะพบในปลาสวายหนุระวัยอ่อนทุกกลุ่ม ส่วนไอโซฟอร์มที่มีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส จะพบเฉพาะในปลาสวายหนุระวัยอ่อนกลุ่มที่ 2 และ 3 แม้ว่ากิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โปรตีนเอนไซม์ที่แสดงออกในตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีรูปแบบคล้ายกัน คือ เอลิโดโปรตีน นิวทรัลโปรตีนและแอลคาไลน์โปรตีน แต่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากตัวอย่างปลาแต่ละกลุ่มนั้นมีความแตกต่างกันทางด้านพันธุกรรม (genetic population) และตัวอย่างปลากลุ่มที่ 3 แสดงค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดทั้งโปรตีนและอะไมเลส อาจเนื่องมาจากสภาพสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ ซึ่งอาจมีปริมาณอาหารมากกว่าแหล่งที่เก็บตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมและคุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาสวายหนุระวัยตัวเต็มวัย พบว่าแอลคาไลน์โปรตีนเป็นโปรตีนหลักในระบบทางเดินอาหารของปลาสวายหนุระวัยตัวเต็มวัยเช่นกัน โดยแสดงกิจกรรมสูงสุดที่ pH 9-10 และ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (จันทกานต์ และคณะ, 2549) สอดคล้องกับรายงานของ Simpson (2000) ที่พบว่าเอลิโดโปรตีนจากกระเพาะอาหารของปลาทั่วไปแสดงกิจกรรมสูงที่ pH 2-4 ขณะที่แอลคาไลน์โปรตีนแสดงกิจกรรมสูงที่ pH 8-10 และ Castillo-Yanez et al. (2004) ที่รายงานว่าเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่สกัดจากลำไส้ของปลาซาร์ดีน *Sardinops sagax caerulea* ทำงานได้ดีที่ pH 10 แต่ทำงานได้น้อยที่ pH 3 โดยทั่วไปลำไส้ของปลาส่วนมากจะมี pH อยู่ในช่วง 7-9 โดยเมื่อเริ่มย่อยอาหารก็จะมี pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจะพบว่าการเปลี่ยนแปลง pH บริเวณมิดกัท (midgut) จะมากกว่าฮายกัท (hind gut) เนื่องจากมิดกัทเป็นบริเวณที่มีการผสมรวมกันระหว่างอาหารจากกระเพาะอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดกับเอนไซม์ในลำไส้ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (วีรพงศ์, 2536) ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานประมาณ 50 องศาเซลเซียส (Bezerra et al., 2005) ความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์โปรตีนที่สกัดจากระบบทางเดินอาหารของปลาแอตแลนติกแซลมอน *Salmo salar* L. สามารถใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพอาหารและการเจริญเติบโตของปลาได้ โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ทริปซินต่อไคโมทริปซิน (Rungruangsak-Torrissen et al., 1998, 2000; Sunde et al., 2001)

#### คุณลักษณะของเอนไซม์ไลเปส

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่สกัดจากปลาสวายหนุระวัยอ่อนทั้งตัวในสภาวะเปลี่ยนแปลง pH ตั้งแต่ 2-12 ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3ก) พบว่าเอนไซม์ไลเปสสามารถทำงานได้ทั้งในสภาวะเป็นกรดและด่าง แสดงกิจกรรมที่ pH 5 และ 11 ตามลำดับ โดยมีค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ pH 5 เมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ ไลเปสที่สกัดจากปลาสวายหนุระวัยอ่อนทั้งตัวในสภาวะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 20-80 องศาเซลเซียส ที่ pH 5 (ภาพที่ 3ข) พบว่าประกอบด้วย 4 ไอโซฟอร์ม ซึ่งแสดงกิจกรรมที่ 30 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยแสดงค่ากิจกรรมจำเพาะสูงสุดที่ 50 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในสภาวะเปลี่ยนแปลง pH พบว่าเอนไซม์ไลเปสจากตัวอย่างกลุ่ม 2 และ 3 มีค่ากิจกรรมใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่ากลุ่ม 1 แต่เมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ใน









ปลาสวายหนูระยะวัยอ่อนสามารถแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสและโปรตีนเอสได้สูง รองลงมาคือ อะไมเลสและเซลลูเลส ตามลำดับ แสดงว่าปลาระยะวัยอ่อนสามารถหลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารได้ทันทีหลังจากฟักออกจากไข่ โดยเฉพาะเอนไซม์ย่อยไขมันและโปรตีน เนื่องจากปลาระยะวัยอ่อนต้องการใช้ไขมันและโปรตีนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตและแม้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารแต่ละชนิดที่แสดงออกในตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีรูปแบบคล้ายกัน แต่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่ม 3 มีความแตกต่างจากกลุ่ม 1 และ 2 อาจเนื่องมาจากตัวอย่างปลาแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันทางด้านพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ เช่น ชนิดและปริมาณอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการหลั่งของเอนไซม์

### สรุปผลการทดลอง

สรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารแต่ละชนิดของปลาสวายหนูระยะวัยอ่อน (ตารางที่ 1) เนื่องจากอุณหภูมิและ pH มีบทบาทสำคัญต่อการแสดงกิจกรรมและเสถียรภาพของเอนไซม์ ดังนั้นขอบเขตของ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแสดงกิจกรรมและความเสถียรของเอนไซม์ จึงเป็นปัจจัยชี้วัดความสามารถในการย่อยอาหารของสัตว์อย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาสวายหนูในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ตารางที่ 1 pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแสดงกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารแต่ละชนิดที่สกัดจากปลาสวายหนู *Helicophagus leptorhynchus* ระยะวัยอ่อน

| ชนิดเอนไซม์ | pH ที่เหมาะสม | อุณหภูมิที่เหมาะสม<br>(องศาเซลเซียส) |
|-------------|---------------|--------------------------------------|
| อะไมเลส     | 6             | 30                                   |
| โปรตีนเอส   | 10            | 40                                   |
| ไลเปส       | 5             | 50                                   |
| เซลลูเลส    | 6             | 50                                   |

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ Dr. Krisna Rungruangsak-Torrissen. Institute of Marine Research-Matre, N-5984, Matredal, Norway. ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ ขอขอบคุณ คุณชัยวุฒิ กรุดพันธ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และชาวประมงทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง

### เอกสารอ้างอิง

- จันทกานต์ นุชสุข, อรุณี อิงคากุล, อุทัยวรรณ โกวิทวที และ อรพินท์ จินตสถาพร. 2549. คุณลักษณะของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาสวายหนู *Helicophagus leptorhynchus* Ng & Kottelat, 2000. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสไตร์ กรุงเทพมหานคร.
- Areekijsee, M., A. Engkagul, U. Kovitvadhi, A. Thongpan, M. Mingmuang and S. Kovitvadhi. 2002. Activity profiles at different pH and temperature of cellulase and lipase in freshwater pearl mussel: *Hyriopsis (Hyriopsis bialatus)*, Simpson 1900). Kasetsart J. (Nat. Sci.) 36: 399-407.
- \_\_\_\_\_, A. Engkagul, U. Kovitvadhi, A. Thongpan, M. Mingmuang, P. Pakkong and K.Rungruangsak-Torrissen. 2004. Temperature and pH characteristics of amylase and proteinase of adult freshwater pearl mussel: *Hyriopsis (Hyriopsis bialatus)*, Simpson 1900). Aquaculture. 234: 575-578.
- Bernfeld, P. 1951. Enzymes of starch degradation and synthesis. Adv. Enzym. 12:379
- Bezerra, R., E. Lins, R. Alencar, P. Paiva, M. Chaves, L. Coelho and L. Carvalho Jr. 2005. Alkaline proteinase from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Process Biochem. 40: 1829-1834.
- Castillo-Yanez, F.L., R. Pacheco-Aguilar, F.L. Garcia-Carreño and M.A. Navarrete-Del Toro. 2004. Characterization of acidic proteolytic enzymes from Monterey sardine (*Sardinops sagax caerulea*) viscera. Food Chem. 85: 343-350.
- Fernandez, I., F.J. Moyano, M. Diaz and T. Martinez. 2001. Characterization of  $\alpha$ -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (Sparidae, Teleostei). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 262: 1-12.
- Lowry, H.O., N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.
- Mendels, M., R. Andreotti and C. Roche. 1976. Measurement of saccharifying cellulase. Biotechnol. Bioeng. Symp. 6: 21-33.
- Ng, H.H. and M. Kottelat. 2000. *Helicophagus leptorhynchus*, a new species of molluscivorous catfish from Indochina (Teleostei: Pangasiidae). Raffles Bull. Zool. 48(1): 55-58.

- Nirpjit, D.S. and J. Kaur. 2002. Immobilization, stability and esterification studies of a lipase from a *Bacillus* sp. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 36: 7-12.
- Rungruangsak-Torrissen, K. and R. Male. 2000. Trypsin isozymes: development, digestion and structure, pp. 215-269. *In* N.F. Haard and B.K. Simpson, eds. *Seafood Enzymes, Utilization and Influence on Postharvest Seafood Quality*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- \_\_\_\_\_, E. Lied and M. Espe. 1998. Differences in digestion and absorption of dietary protein in Atlantic salmon (*Salmo salar*) with genetically different trypsin isozymes. *J. Fish Biol.* 45: 1087-1104.
- Simpson, B.K. 2000. Digestive proteases from marine animals, pp. 191-213. *In* N.F. Haard and B.K. Simpson, eds. *Seafood Enzymes, Utilization and Influence on Postharvest Seafood Quality*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Sunde, J., G.L. Taranger and K. Rungruangsak-Torrissen. 2001. Digestive protease activity and free amino acids in white muscle as indicators for feed conversion efficiency and growth rate in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish Physiol. Biochem.* 25: 335-345.
- Vega-Villasante, F., H. Nolasco and R. Civera. 1995 The digestive enzymes of the Pacific brown shrimp *Penaeus californiensis* II of protease activity in the whole digestive tract. *J. Comp. Biochem. Phy.* B 112: 123-129