บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการทดลอง

แอคติวิตีจำเพาะของทริปซินและไคโมทริปซินในปลากะพงขาว

การหาค่าแอคติวิตีของทริปซินของปลากะพงขาวที่มีอายุ 20, 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับที่อุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินของปลากะพงขาวทุกช่วงอายุจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่มีค่าแอคติวิตีสูงรองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การหาค่าแอคติวิตีของไคโมทริปซินของปลากะพงขาวที่มีอายุ 20, 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 20-60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแอคติวิตีจำเพาะของไคโมทริปซินของปลากะพงขาวทุกช่วงอายุจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยที่ค่าแอคติวิตีของไคโมทริปซินของปลากะพงขาวของทั้ง 3 อุณหภูมินี้จะมีปริมาณสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ฉะนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมของแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินของปลากะพงขาวที่ช่วงอายุต่าง ๆ จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 60 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่างจากรายงานของ Rungruangsak-Torrissen and Sundby (2000) และ Torrissen, Leid and Espe (1994) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับแอคติวิตีของปลาแอตแลนติกแซลมอน (*Salmo salar L.*) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินจะอยู่ที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ จากการที่ผลการทดลองแตกต่างกันอาจจะเนื่องมาจากชนิดของปลาที่แตกต่างกันและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้อาจจะไม่เหมาะสมในการวัดแอคติวิตีเพราะเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินนั้นไม่สามารถการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ จึงอาจทำให้สับสเตรตที่ใช้อาจมีการสูญเสียความร้อนจึงทำให้ค่าแอคติวิตีที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนการทดลองในสัตว์น้ำชนิดอื่นในบางครั้งการวัดแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินก็ไม่ได้มีการวัดที่อุณหภูมิ 50 และ 40 องศาเซลเซียส เช่น Picos-Garcia et al. (2000) ได้ทำการศึกษาแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินของหอย Mexican Green Abalone (*Haliotis fulgens*) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก็ยังสามารถวัดค่าแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินได้ แต่ค่าที่ได้จะมีค่าไม่สูงมากนัก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ส่วนการเปรียบเทียบค่าแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินและไคโมทริปซินระหว่างปลากะพงขาวที่มีอายุ 20, 30, 60 และ 90 วันตามลำดับ พบว่าค่าแอคติวิตีจำเพาะของปลากะพงขาวที่อายุ 20 วันจะมีค่าสูงกว่าปลากะพงขาวที่ช่วงอายุอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การที่ปลากะพงขาวอายุ 20 วันมีแอคติวิตีสูงอาจจะเป็นเพราะว่าปลากะพงขาวอายุ 20วันยังมีการให้อาร์ทีเมียเป็นอาหาร ดังนั้นจึงอาจมีน้ำย่อยจากอาร์ทีเมียมาช่วยในการย่อยอาหารเนื่องจากอาร์ทีเมียมีน้ำย่อยโปรตีนอยู่ในระดับหนึ่ง (วิชัย วัฒนกุล, สุนิตย์ โรจนพิทยากุล และพูนสิน พานิชสุข, 2540; Lauff & Hofer, 1984)

ในการทดลองหาแอคติวิตีจำเพาะของปลากะพงขาวในครั้งนี้แตกต่างจากการทดลองของวิชัย วัฒนกุล และคณะ (2540) ที่ทำการศึกษาการพัฒนาน้ำย่อยในลูกปลากะรัง พบว่าเมื่อปลากะรังมีอายุมากขึ้นจะมีแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินและไคโมทริปซินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองของอัญชลี คงสมบูรณ์ (2530) ที่ทำการศึกษารูปแบบเอนไซม์ในทางเดินอาหารของลูกปลากะพงขาวพบว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงด้วยอาหารธรรมชาติ (โรติเฟอร์ อาร์ทีเมีย กุ้งเคย และปลาสับ) พบว่าเมื่อปลากะพงขาวอายุมากขึ้นจะมีแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินสูงขึ้น แต่การที่ในการทดลองนี้มีแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินและไคโมทริปซินสูงสุดที่อายุ 20 วันแล้วหลังจากนั้นก็ลดลง ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าเมื่อปลามีอายุมากขึ้นจะมีปริมาตรของเหลวและน้ำหนักของทางเดินอาหารเพิ่มมากขึ้นแต่ปริมาณการผลิตเอนไซม์มีเท่าเดิมจึงทำให้ความเข้มข้นของเอนไซม์น้อยลง รายงานฉบับนี้ยังกล่าวว่าแอคติวิตีต่อปริมาตรของเหลวของเอนไซม์ทริปซินในลูกปลากะพงขาวมีแอคติวิตีสูงสุดในระยะแรก ๆ โดยเฉพาะเมื่อปลามีอายุ 22-29 วันจะมีค่าแอคติวิตีสูงที่สุด แต่เมื่อปลามีอายุมากขึ้นแอคติวิตีจะค่อย ๆ ลดลง ยิ่งปลามีอายุมากขึ้นก็จะทำให้ปริมาตรของเหลวในทางเดินอาหารมากขึ้น ทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์ต่อปริมาตรของเหลวลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่าปลาน่าจะมีการสังเคราะห์เอนไซม์ได้คงที่หรืออาจน้อยลงเมื่อปลามีอายุมากขึ้น และเมื่อปลามีอายุมากกว่า 104 วันแอคติวิตีต่อปริมาตรของเหลวในทางเดินอาหารจะลดลงอย่างมาก นอกจากนี้รายงานฉบับเดียวกันยังกล่าวว่าค่าแอคติวิตีต่อน้ำหนักทางเดินอาหารของทริปซินจะมีค่าสูงในช่วงอายุ 22-29 วัน หลังจากนั้นก็จะลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองนั้นสรุปได้ว่าแอคติวิตีของทริปซินในทางเดินอาหารของปลากะพงขาวจะมีค่าลดลงเมื่อปลามีอายุเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับเอนไซม์ไคติเนสในการทดลองเดียวกัน

ส่วน Cahu and Infate (2001) กล่าวในทำนองเดียวกันว่า รูปแบบของแอคติวิตีของเอนไซม์จากตับอ่อนจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโปรตีนภายในร่างกายของสัตว์น้ำวัยอ่อน ซึ่งแอคติวิตีจะเพิ่มขึ้นหลังจากเพาะฟักไปจนกระทั่งมีอายุ 20 วัน หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงไปจนถึงอายุ 25 วัน ซึ่งจะมีระดับคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อปลามีอายุมากขึ้น รูปแบบ

นี้แสดงให้เห็นว่าน้ำย่อยอาหารของสัตว์น้ำวัยอ่อนมีปริมาณสูงมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นว่ากระบวนการสังเคราะห์น้ำย่อยของสัตว์น้ำมีความเกี่ยวเนื่องกับอายุของสัตว์น้ำ

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารในหลอดทดลองของปลากะพงขาว

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนภายในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารทั้ง 6 ชนิดคือ ปลาป่น ถั่วเหลืองป่น ถั่วลิสงป่น เลือดป่น เนื้อและกระดูกป่นและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปลากะพงขาวสามารถย่อยโปรตีนจากปลาป่น กากถั่วเหลืองป่น ได้เป็นอย่างดีโดยประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบเหล่านี้จะมีค่าอยู่ที่ 0.66 และ 0.61μmol DL-Alanine ตามลำดับ และย่อยได้ดีกว่าโปรตีนจากเนื้อและกระดูกป่น ถั่วลิสงป่น เลือดป่น และแป้งมันสำปะหลังตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารในสัตว์น้ำชนิดอื่นโดย ทวี จินดามัยกุล, พิชญา ชัยนาค และจูอะดี พงศ์มณีรัตน์ (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารในปลาหมอทะเล โดยใช้ปลาป่น กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน หวีดกลูเต้น ปลาหมึกป่น ข้าวโพดป่น หัวกุ้งป่น และเนื้อกระดูกป่นเป็นวัตถุดิบอาหารในการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาป่น กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน หวีดกลูเต้น ปลาหมึกป่น ข้าวโพดป่น หัวกุ้งป่น และเนื้อกระดูกป่น มีค่าเท่ากับ 94.04, 85.95, 95.60, 82.08, 81.28, 84.04 และ 88.07 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปลาหมอทะเลสามารถย่อยปลาป่น เนื้อและกระดูกป่นได้ดีกว่ากากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ตรงข้ามกับการทดลองของจูอะดี พงศ์มณีรัตน์, พิชญา ชัยนาค และทวี จินดามัยกุล (2546) ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารในกุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วย ผลการศึกษาพบว่ากุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยสามารถย่อยโปรตีนจากปลาป่น กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน หวีดกลูเต้น และปลาหมึกป่นได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพมากกว่าโปรตีนจากข้าวโพดป่น หัวกุ้งป่น และเนื้อกระดูกป่น ส่วนเลือดป่นแม้จะมีโปรตีนสูงแต่ก็พบว่าโปรตีนมีคุณภาพต่ำเนื่องจากมีกรดอะมิโนเมธไธโอนีนและไอโซลิวซีนต่ำมาก ไม่สมดุลกับปริมาณไลซีนทริปโตเฟนที่มีอยู่สูงและเลือดป่นได้ผ่านขั้นตอนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงจึงทำให้มีโปรตีนที่สัตว์น้ำย่อยได้น้อย กากถั่วลิสงถูกย่อยได้พอสมควรแต่ก็มีถือว่าย่อยได้น้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากถั่วลิสงมีสารยับยั้งทริปซินซึ่งจะทำให้คุณภาพโปรตีนของถั่วลิสงลดน้อยลงไปอีก สำหรับแป้งมันสำปะหลังนั้นจะไม่พบว่ามีการย่อยโปรตีนได้เลยทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นวัตถุดิบประเภทโปรตีนต่ำ (บุญชัย กิจสัมฤทธิ์โรจน์, 2532)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่นในหลอดทดลองของปลากะพงขาว

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนภายในหลอดทดลองของอาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่นที่ 30 45 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าปลากะพงขาวสามารถย่อยโปรตีนในชุดควบคุมซึ่งก็คือปลาป่นได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองอยู่ที่ 0.55 µmol DL-Alanine รองลงมาคืออาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลือง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองอยู่ที่ 0.45 µmol DL-Alanine มากกว่าอาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่น 45 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนอาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่น 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าการย่อยโปรตีนต่ำกว่าอาหารเม็ดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองป่นในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้โปรตีนที่ย่อยได้ลดน้อยลง ฉะนั้นการทดลองนี้จึงทำให้เห็นว่าอาหารเม็ดที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยกากถั่วเหลืองป่น 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นอาหารที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดแทนปลาป่น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมที่ใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหาร ($p < 0.05$) จึงอาจจะทำให้ต้องลดปริมาณเบอร์เซ็นต์ของกากถั่วเหลืองให้น้อยลงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์เพื่อที่จะได้ให้มีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนได้มากขึ้น

Dabrowski, Poczyczynski, Kock and Berger (1989) ได้ทำการทดลองใช้กากถั่วเหลืองแทนที่ปลาป่นในอาหารปลาเรนโบว์เทราต์ พบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองในการทดแทนปลาป่นได้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับ Alexis, Papaparaskeva-Papoutsoglou and Theochari (1985) ก็ได้ศึกษาในปลาเรนโบว์เทราต์เช่นเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนแทนที่ปลาป่นประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการศึกษาการลดต้นทุนค่าอาหารของปลากะพงขาวก็ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษา เช่น จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ และมะลิ บุญรัตนผลิน (2538) พบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองและโปรตีนข้าวโพดในอาหารปลากะพงขาวได้ 17 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน มะลิ บุณยรัตนผลิน, ประวิทย์ สุรนีรนาถ และธำมรงค์ ตันภิบาล (2539) ได้ทำการศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดต่าง ๆ ในอาหารปลากะพงขาว พบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน ถั่วเหลืองเอกซ์ทรูดและถั่วเหลืองนึ่งแทนที่ปลาป่นได้ 15 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกากถั่วเหลืองก็นับได้ว่าเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นได้ดีกว่าโปรตีนจากวัตถุดิบชนิดอื่นเพราะว่ามีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ดีเมื่อ

เทียบกับแหล่งโปรตีนชนิดอื่น นอกจากนี้แล้วกากถั่วเหลืองก็ยังเป็นแหล่งโปรตีนที่หาได้ง่าย มีราคาถูกและมีปริมาณไม่ขาดแคลนเมื่อเทียบกับแหล่งโปรตีนชนิดอื่น ๆ ฉะนั้นจึงได้มีการนำกากถั่วเหลืองมาใช้ในการค้นคว้าเพื่อที่จะนำมาศึกษาในการทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิดเนื่องจากในปัจจุบันปลาป่นได้มีราคาแพงขึ้นและมีปริมาณลดน้อยลงอันมีผลสืบเนื่องจากภาวะเศรษฐกิจ ส่วนเนื้อและกระดูกป่นก็เป็นแหล่งโปรตีนสำรองอีกแหล่งหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารสัตว์น้ำหลาย ๆ ชนิดได้เพราะเนื้อและกระดูกป่นเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแหล่งโปรตีนชนิดอื่น แต่เนื่องจากที่เนื้อและกระดูกป่นมีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูงก็อาจจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง (จูอะดี พงศ์มณีรัตน์ และคณะ, 2546) จึงสามารถนำมาทดแทนปลาป่นได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น

ฉะนั้นจากการทดลองนี้อาจจะกล่าวได้ว่ากากถั่วเหลืองป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารเม็ด โดยที่ไม่ควรใช้ในการทดแทนปลาป่นเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากกากถั่วเหลืองแล้วก็ยังมีเนื้อและกระดูกป่นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นแต่อาจจะไม่ได้ผลดีนัก ส่วนกากถั่วลิสง เลือดป่น และแป้งมันสำปะหลังไม่ควรที่จะนำมาใช้ทดแทนปลาป่นในสูตรอาหาร อย่างไรก็ตามการที่จะใช้วัตถุดิบชนิดใดมาทดแทนปลาป่นนอกจากจะศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยแล้วต้องดูเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ทดแทนปลาป่นด้วย

สรุปผลการทดลอง

1. แอคติวิตีจำเพาะของทริปซินของปลากะพงขาวจะมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปลากะพงขาวที่มีอายุ 20 วันจะมีแอคติวิตีจำเพาะของทริปซินสูงที่สุด เมื่อปลากะพงขาวมีอายุมากขึ้นจะมีแอคติวิตีของทริปซินลดต่ำลง

2. แอคติวิตีจำเพาะของไคโมทริปซินของปลากะพงขาวจะมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปลากะพงขาวที่มีอายุ 20 วันจะมีแอคติวิตีจำเพาะของไคโมทริปซินสูงที่สุด เมื่อปลากะพงขาวมีอายุมากขึ้นจะมีแอคติวิตีของไคโมทริปซินลดต่ำลง

3. เอนไซม์ย่อยโปรตีนของปลากะพงขาวสามารถย่อยปลาป่นได้ดีที่สุด รองลงมาคือกากถั่วเหลืองป่นและเนื้อและกระดูกป่นตามลำดับ กากถั่วเหลืองป่นสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบทดแทนปลาป่นได้ดีที่สุด

4. กากถั่วเหลืองป่นสามารถนำมาทดแทนปลาป่นในปริมาณน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารเม็ดสำหรับใช้เลี้ยงปลากะพงขาวซึ่งมีส่วนประกอบของปลาป่น 40 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อเสนอแนะ

1. การหาแอคติวิตีของทริปซินและไคโมทริปซินควรทำในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเซลล์ได้ เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2. ควรหาวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีปริมาณโปรตีนสูงมาทดลองย่อยในหลอดทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการหาวัตถุดิบในการทดแทนปลาป่น เช่นเนื้อปลาหมึกป่น

3. การที่จะใช้กากถั่วเหลืองป่นมาทดแทนปลาป่นในสูตรอาหาร ควรศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมโดยทดลองนำมาทดแทนปลาป่นในช่วงต่าง ๆ ที่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

4. สามารถนำการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาอาหารในสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เพื่อพัฒนาการผลิตสูตรอาหารสัตว์น้ำต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University