



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยง
ปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย

In vitro Digestible efficiency of local material feeds for Nile Tilapia

(*Oreochromis nilotica*) feeds development in cost reduction and food safety

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ :ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหาร
ปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

Eco friendly aquaculture for food safety and value
added of fishery resources

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556

จำนวน 247,340บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาวสุดาพร ตงศิริ

ผู้ร่วมโครงการ

นางดวงพร อมรเลิศพิศาล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/ต.ค./2556

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมทั้งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2556 ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

สุดาพร ตงศิริ

ดวงพร อมรเลิศพิศาล

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๓
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	21
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	30
สรุปผลการวิจัย	37
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	44

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 1	อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ย่อยอาหารของปลา	11
ตาราง 2	แผนการวัดเอนไซม์ย่อยอาหารในการทดลอง	28
ตาราง 3	ความสามารถในการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารของเอนไซม์	33

	สารบัญภาพ	หน้า
ภาพ 1	วัตถุดิบอาหาร “ปลาป่น”	7
ภาพ 2	วัตถุดิบอาหาร “กากถั่วเหลือง”	8
ภาพ 3	วัตถุดิบอาหาร “รำ และ ปลาขี้ขาว”	9
ภาพ 4	วัตถุดิบอาหาร “วิตามินรวม”	9
ภาพ 5	อาหารสัตว์น้ำผลิตแบบอาหารจม	10
ภาพ 6	อวัยวะย่อยอาหารในปลาแต่ละชนิด	12
ภาพ 7	ปลานิลวัยอ่อน และ ตัวเต็มวัยที่ใช้ในการทดลอง	19
ภาพ 8	การบดอวัยวะย่อยอาหารด้วยเครื่อง homogenizer	21
ภาพ 9	Crude enzyme ที่ได้จากอวัยวะย่อยอาหาร	21
ภาพ 10	ถุงเมมเบรนที่เติมเอนไซม์ในถุง ก่อนนำไปแช่ใน buffer	22
ภาพ 11	การปั่นเหวี่ยงเอนไซม์เพื่อเก็บส่วนใสใช้ในการศึกษากิจกรรมการทำงาน	23
ภาพ 12	วัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการศึกษา <i>in vitro</i> digestibility	25
ภาพ 13	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และ การทำ <i>in vitro</i> digestibility	25
ภาพ 14	การวัดความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต	26
ภาพ 15	ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน	29
ภาพ 16	ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย	30
ภาพ 17	ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน	31
ภาพ 18	ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย	32

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล
แบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย

**In vitro Digestible efficiency of local material feeds for Nile Tilapia
(*Oreochromis nilotica*) feeds development in
cost reduction and food safety**

สุดาพร ตงศิริ และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล

Sudaporn Tongsir and Doungporn Amornlerdpison

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ปลานิล เป็นปลาเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีการบริโภคมากภายในประเทศ และส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ จึงมีการพัฒนาอาหารที่เลี้ยงให้มีต้นทุนต่ำมาโดยตลอด การวิจัยเรื่องนี้มีจุดประสงค์จะศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล ด้วยวิธีการ *in vitro* digestibility เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่ย่อยได้ดี โดยศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านด้วยเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยใช้วัตถุดิบจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลิน่า ปลาป่น ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศและปลายข้าว ผลการทดลอง พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในบริเวอร์ยีสต์ ในขณะที่ ความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุดในปลายข้าว ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่า เอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัย พบว่า ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต พบสูงสุดในกากนมถั่วเหลือง และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายไส้ไก่

คำสำคัญ การเลี้ยงปลานิล, *in vitro* digestibility, วัตถุดิบพื้นบ้าน, อาหารปลานิล

Abstract

Nile Tilapia is a fish of economic importance. The cost of feed is the main factor to be considered in the culturing of Nile Tilapia. The culturing process should be improved and developed for the benefits of low-cost farming. This is a study of the digestibility in local material feed for the purpose of developing feed for Nile Tilapia using an *in vitro* digestibility method. The digestibility of 15 types of local material feed: soybean milk meal, Spirulina, fish meal, katin meal, green beans, rice bran, brewer's yeast, sunflower seed, peanuts, black beans, *Enteromopha intestinalis*, red kidney beans, soybean meal, swine manure from anaerobic digestion and broken rice. The results were found that the digestive enzymes from fingerlings could be digesting the highest carbohydrate in brewer's yeast. The highest protein digestion was broken rice. The adult Nile Tilapia enzyme was found that the stomach enzyme could digest *Enteromopha intestinalis*. The intestine enzyme was found that the highest of carbohydrate digestion was soybean milk meal. The highest of protein digestion was *Enteromopha intestinalis*.

Keywords: Nile Tilapia, *in vitro* digestibility, local material feed, Nile Tilapia feed

คำนำ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงสามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ เจริญเติบโตเร็ว เนื้อปลามีรสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ปลานิล เป็นปลาที่เลี้ยงได้หลายประเทศเกือบทั่วโลก ยกเว้นประเทศที่มีอุณหภูมิหนาวจัดเท่านั้น ความสำคัญอีกประการของปลานิล คือ สามารถทดแทนการขาดแคลนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ในบางพื้นที่ได้ ปลานิลจึงกลายเป็นปลาที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงในเกือบทุกประเทศ และเป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยและของโลกด้วย (เสนห์, 2552) ผลผลิตของปลานิลในภูมิภาคเอเชีย พบว่า ร้อยละ 50 ของผลผลิตในโลกได้มาจากกลุ่มประเทศในเอเชีย ซึ่งได้แก่ จีน อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย มาเลเซีย และบังกลาเทศ (กรมประมง, 2554) การเลี้ยงปลานิลนอกจากปัญหาเรื่องกลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นในเนื้อปลานิลแล้ว ยังพบว่าต้นทุนค่าอาหารเป็นเรื่องที่มีผลกระทบต่อการผลิตปลานิลเป็นอย่างมาก เพราะว่า ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มาจากอาหาร จึงทำให้มีการศึกษาการผลิตอาหารปลาโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงของเกษตรกร (กรมประมง, 2554)

แนวทางหนึ่งที่สามารถทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารต่ำลง คือ การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล หากมีการใช้วัตถุดิบที่เอนไซม์ในปลานิลย่อยได้หมด ก็จะทำให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดในการใช้วัตถุดิบอาหารนั้น เช่น การศึกษาการย่อยอาหารโดยวิธี *in vitro* digestibility เป็นวิธีการดัดแปลงจาก Rungruangsak-Torissen et al., 2002 มีการศึกษา โดย ยุทธนา และ คณะ, 2550 ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮพาโตแพนเรียส กระเพาะและ ลำไส้ ของกึ่งขาว กึ่งก้ามกราม และ กึ่งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กึ่งย่อยได้ดี คือ ปลาขี้ขาว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์ จากการศึกษาดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่า เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลงจนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีนซึ่งเอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ โปรติเอส มีการทำงานที่ดีในสภาพที่เป็นด่าง และมีค่ากิจกรรมการทำงานที่แตกต่างภายใต้อุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้ความสามารถในการย่อยของปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน เอนไซม์ทริปซินและโคโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรตีนออส เป็นเปปโดน และย่อยจนได้เป็น กรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด (Lovell, 1989)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านมาทดแทนอาหารสำเร็จรูปของปลานิล โดยศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ของเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิล ด้วยวิธี *in vitro* digestibility ในวัตถุดิบอาหาร จำนวน 15 ชนิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัตถุดิบพื้นบ้านที่สามารถนำมาทดแทนอาหารสำเร็จรูปของปลานิลและได้สูตรอาหารที่มีต้นทุนต่ำ ใช้วัตถุดิบอาหารในท้องถิ่น รวมถึงได้สูตรอาหารที่ทำให้ปลานิลเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารปลานิลที่มีขายในท้องตลาด
2. ได้เทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการศึกษาความสามารถในการย่อย โดยมีข้อดีคือ มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก สะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่แพง รวมทั้งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการหาวัตถุดิบพื้นบ้านที่เหมาะสมต่อการย่อยอาหารของปลานิล

ตรวจเอกสาร

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลานิล

ปลานิล มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ สามารถเจริญเติบโตได้ถึงขนาด 500 กรัม ในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 8 เดือน - 1 ปี เนื้อปลามีรสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ขนาดปลานิลที่ตลาดต้องการจะมีน้ำหนักตัวละ 200 - 300 กรัม จากคุณสมบัติของปลานิลซึ่งเลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็ว สามารถกินอาหารธรรมชาติได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ มีความสามารถสูงในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี คือ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อย มีชีวิตอยู่ได้ในอุณหภูมิน้ำ 10 - 40 องศาเซลเซียส และสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่ถูกกักขังในที่แคบ เช่น บ่อเลี้ยงหรือกระชังได้ โดยที่ยังมีการเจริญเติบโตได้ดีเหมือนในธรรมชาติ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ปลานิล จึงถูกนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อและกระชังในหลายประเทศเกือบทั่วโลก ยกเว้นประเทศที่มีอุณหภูมิหนาวจัดเท่านั้น เพราะปลานิลสามารถเข้ามาทดแทนความขาดแคลนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ในบางประเทศที่ แห้งแล้งทุรกันดารได้เป็นอย่างดี จนได้ชื่อว่า “aquatic chicken” ปลานิล จึงกลายเป็นปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงในเกือบทุกประเทศ และเป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยและของโลก ด้วย (แสนή, 2552) จากเหตุผลดังกล่าวมีแนวโน้มการผลิตปลานิลเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเป็นปลาที่มีราคาถูก ไม่ประสบกับปัญหาเรื่องโรคระบาด ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันปลานิลสามารถจัดเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ต่างประเทศในลักษณะของปลาแช่เนื้อ โดยตลาดที่สำคัญๆ อาทิ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี เป็นต้น (กรมประมง, 2554)

ประโยชน์และความสำคัญของอาหารปลานิล

อาหารสัตว์น้ำมีความสำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมาก เนื่องจากอาหารเป็นบ่อเกิดพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของชีววินทรีย์ ตลอดจนเป็นต้นทุนผันแปรที่สูงที่สุดของการเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีผลโดยตรงต่อกำไรหรือขาดทุนของผู้เลี้ยง สัตว์น้ำก็เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ที่ต้องการอาหารบริโภคเพื่อดำรงชีวิตให้คงอยู่มีการเจริญเติบโต และสามารถแพร่ขยายพันธุ์ ตราบใดก็ตามถ้าสัตว์น้ำมีอาหารกินอย่างเพียงพอและเป็นอาหารที่มีคุณภาพดี สัตว์น้ำก็จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีสุขภาพดี แข็งแรง และมีลูกดก อันเป็นสิ่งที่นักเพาะเลี้ยงทั้งหลายมีความปรารถนาอย่างยิ่ง จนอาจกล่าวได้ว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำจะประสบผลสำเร็จหรือไม่เพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณภาพ ปริมาณ และราคาของอาหารสัตว์น้ำเป็นสำคัญ

อาหารสัตว์น้ำนอกจากจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วน และปริมาณที่เพียงพอแล้ว ยังจะต้องมีรูปแบบที่สะดวกและเหมาะสมต่อชนิด ขนาด และวัยของสัตว์น้ำด้วย ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับแล้วว่าอาหารสัตว์น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตโดยตรง อาหารสัตว์น้ำนั้นมีผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำหลายด้าน กล่าวคือสมรรถภาพในการทำงานของร่างกาย สมอง และประสาท การที่สัตว์น้ำได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ หรือในภาวะบกพร่องทางโภชนาการ ย่อมทำให้การเจริญเติบโตของร่างกายไม่สามารถดำเนินต่อเนื่องไปได้ปกติ เกิดความผิดปกติของร่างกายทั้งทางด้านโครงสร้าง รูปร่าง และขนาด ในที่สุดทำให้สัตว์น้ำแคระแกรน ถ้าเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับสัตว์น้ำในระยะเริ่มแรกหรือในระยะวัยอ่อน ย่อมจะส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงการทำงานของสมองและระบบประสาทในระยะต่อมา บางกรณีอาจรุนแรงจนทำให้การทำงานของสมองและระบบประสาทเสื่อมได้ สัตว์น้ำได้รับอาหารที่มีโภชนาการต่ำ ร่างกายจะไม่แข็งแรง ติดเชื้อได้ง่าย เพราะร่างกายไม่สามารถต้านทานโรคได้ตามปกติ ความสามารถในการต้านทานโรคของสัตว์น้ำเกิดขึ้นอย่างเป็นวงจรในภาวะขาดแคลนอาหารหรือโภชนาการต่ำ ก็จะทำให้การต้านทานโรคต่ำลง สัตว์น้ำก็เป็นโรคได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้อาหารสัตว์มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศในหลายๆ ประการด้วยกัน (เจษฎา, 2549)

การเลี้ยงปลานิล

การเตรียมบ่อดิน ควรเป็นบ่อที่สามารถเก็บกักน้ำได้ระดับสูง 1 เมตร บ่อเลี้ยงปลาควรมีเชิงลาดตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันดินพังทลาย ต้องกำจัดศัตรูของปลา แล้วใส่ปุ๋ยคอกแห้ง 300 กก. ต่อไร่ ดากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน แล้วจึงเปิดหรือสูบน้ำเข้าบ่อ ผ่านตะแกรงตาถี่ อัตราการปล่อยปลาเลี้ยงในบ่อดิน ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหาร และการจัดการเป็นสำคัญ โดยทั่วไปจะปล่อยลูกปลานิลขนาด 3-5 ซม. ลงเลี้ยงในอัตรา 1-3 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 2,000 - 5,000 ตัวต่อไร่ (กรมประมง, 2554)

การเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน (GMS Agricultural Information Network, 2007)

1. กำจัดวัชพืชและพันธุ์ไม้น้ำต่าง ๆ เช่น กก หญ้า ผักตบชวาให้หมดโดยนำมากองสุมไว้แห้ง แล้วนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักในขณะปล่อยปลาลงเลี้ยง ถ้าในบ่อเก่ามีเลนมากจำเป็นต้องสาดเลนขึ้นโดยนำไปเสริมคัดดินที่ขำรุค หรือใช้เป็นปุ๋ยแก่พืช ผัก ผลไม้ พร้อมทั้งตกแต่งเชิงลาดและอัดดินให้แน่นด้วย กำจัดศัตรูของปลานิล ได้แก่ ปลาจำพวกกินเนื้อ เช่น ปลาช่อน ปลาชะโด ปลาหมอ ปลาดุก นอกจากนี้ก็มีสัตว์จำพวก กบ เขียด งู เป็นต้น โดยวิธีระบายน้ำออกให้เหลือน้อย

ที่สุด การกำจัดศัตรูของปลาอาจใช้โล่ดินสด หรือแห้ง ประมาณ 1 กก. ปริมาณของน้ำในบ่อ 100 ลูกบาศก์เมตร โดยการทุบหรือบดโล่ดินให้ละเอียด นำลงแช่น้ำประมาณ 1-2 ปี๊บ ขยำโล่ดินเพื่อให้ น้ำสีขาวออกมาหลาย ๆ ครั้งจนไม่มีน้ำสีขาวออกจึงนำไปสาดให้ทั่วบ่อ ศัตรูพวกปลาจะลอยหัว ขึ้นมาภายหลังโล่ดินประมาณ 30 นาที ใช้สวิงจับขึ้นมา ที่เหลือตายพื้นบ่อจะลอยในวันรุ่งขึ้น ส่วน ศัตรูจำพวกกบเขียดจะหนีออกจากบ่อไป และก่อนปล่อยปลาลงเลี้ยง ควรจะทิ้งระยะไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้ฤทธิ์ของโล่ดินสลายตัวไปหมด

2. การใส่ปุ๋ย โดยปกติแล้วอุปนิสัยในการกินอาหารของปลานิลจะกินอาหาร จำพวกแพลงก์ตอนพืช และสัตว์ แห่น สาหร่าย ฯลฯ ดังนั้น ในบ่อเลี้ยงปลาควรให้อาหารธรรมชาติ ดังกล่าวเกิดขึ้นอยู่เสมอ จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยลงไปเพื่อละลายเป็นธาตุอาหาร ซึ่งพืชน้ำขนาดเล็กมีความต้องการใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และแพลงก์ตอนพืชดังกล่าวยังเป็นอาหารสำหรับผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารอันดับต่อไป เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ ได้แก่ ไรน้ำ และตัวอ่อนของแมลง ปุ๋ยที่ใช้ ได้แก่ มูลวัว ควาย หมู เป็ด ไก่ นอกจากปุ๋ย ที่ได้จากมูลสัตว์แล้วอาจใช้ปุ๋ยหมักจำพวกหญ้าและฟางข้าวหรือใช้ปุ๋ยสดชนิดต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกัน อัตราส่วน การใส่ปุ๋ยคอกในระยะแรก ควรใส่ประมาณ 250-300 กก. ต่อไร่ต่อเดือน ส่วนในระยะหลัง ควรลดลงเพียงครึ่งหนึ่ง หรือสังเกตจากสีของน้ำในบ่อ ถ้ายังมีสีเขียวอ่อนแสดงว่ามีอาหารธรรมชาติ เพียงพอ ถ้าน้ำใสเนื่องจากปราศจากอาหารในธรรมชาติก็เพิ่มอัตราส่วนให้มากขึ้น และในกรณีที่ ไม่สามารถใส่ปุ๋ยคอก อาจใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สูตร 15 : 15 : 15 ใส่ประมาณ 5 กก. ต่อไร่ต่อเดือน ทดแทนวิธีใส่ปุ๋ย ถ้าเป็นปุ๋ยคอกควรตาก บ่อให้แห้ง เพราะปุ๋ยสดจะทำให้ น้ำมีแก๊สจำพวก แอมโมเนียละลายอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นอันตรายต่อปลา การใส่ปุ๋ยคอกใช้วิธีหว่านลงไป ในบ่อ ให้ละลายน้ำทั่ว ๆ บ่อ ส่วนปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยสดนั้นควร กองสุมไว้ ตามมุมบ่อ 2-3 แห่ง โดยมีไม้ปัก ล้อมเป็นคอกรอบกองปุ๋ยเพื่อป้องกันมิให้ส่วนที่ยังไม่สลายตัวกระจัดกระจาย

3. อัตราปล่อยปลาเลี้ยงในบ่อดิน ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหาร และการจัดการเป็น สำคัญ โดยทั่วไป จะปล่อยลูกปลาขนาด 3-5 ซม. ลงเลี้ยงในอัตรา 1-3 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 2,000 - 5,000 ตัวต่อไร่

4. การให้อาหาร การใส่ปุ๋ยเป็นการให้อาหารแก่ปลานิลที่สำคัญมากวิธีหนึ่ง เพราะ จะได้อาหารธรรมชาติ ที่มีโปรตีนสูงและราคาถูก แต่เพื่อเป็นการเร่งให้ปลาที่เลี้ยงเจริญเติบโตขึ้น หรือถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงควรให้อาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารสมทบด้วย เช่น รำ ปลายข้าว กากมะพร้าว มันสำปะหลัง หั่นคัม ให้สุก และเศษเหลือของอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น กากถั่วเหลืองจากโรงทำเต้าหู้ กากถั่วลิสง อาหารผสมซึ่งมีปลาป่น รำข้าว ปลายข้าว มีจำนวน โปรตีนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เศษอาหารที่เหลือจากโรงครัวหรือภัตตาคาร อาหารประเภทพืชผัก

เช่น แหนเป็น สาหร่าย ผักตบชวาสับให้ละเอียด เป็นต้น อาหารสมทบเหล่านี้ควรเลือกชนิดที่มีราคาถูกและหาได้สะดวกส่วนปริมาณที่ให้ก็ไม่ควรเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง หรือจะใช้วิธีสังเกตจากปลาที่ขึ้นมากินอาหารจากจุดที่ให้เป็นประจำ คือ ถ้ายังมีปลานิลออกันอยู่มากเพื่อรอกินอาหารก็เพิ่มจำนวนอาหารมากขึ้นตามลำดับทุก 1-2 สัปดาห์ ในการให้อาหารสมทบมีข้อพึงควรระวัง คือ ถ้าปลากินไม่หมด อาหารจมพื้นบ่อ หรือละลายน้ำมากก็ทำให้เกิดน้ำเน่าเสียเป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยง และ/หรือต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ เปลี่ยนน้ำบ่อยครั้ง

อาหารและการเจริญเติบโตของปลานิล

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน ลูกปลาวัยอ่อนและลูกปลานี้ว จะต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 32-40 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปลาใหญ่ต้องการระดับโปรตีนประมาณ 27-34 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด ทำให้สามารถกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ในบ่อ ตลอดจนสาหร่ายและแหนได้ด้วยเช่นกัน การให้อาหารจะให้อาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง เพราะหากให้อาหารมากเกินไป ปลาจะกินไม่หมด สิ้นเปลืองค่าอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังทำให้น้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายแก่ปลาได้ (กรมประมง, 2554)

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทโปรตีนจากสัตว์

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญให้โปรตีนสูงและมีคุณภาพดีทำมาจากปลาเป็ด เศษปลาเล็กปลาน้อยหรือ หัวปลาที่เหลือจากโรงงานทำปลากระป๋องทำให้ปลาป่นที่ผลิตได้มีคุณภาพหลากหลาย (ภาพ 1) ดังนั้นในการซื้อขายปลาป่น จึงมีการแบ่งเกรด ตามเปอร์เซ็นต์โปรตีนในปลาป่น โดยปลาป่นชั้นคุณภาพที่ 1 จะมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 60 ปลาป่น ชั้นคุณภาพที่ 2 มีโปรตีนไม่น้อยกว่า 55 เปอร์เซ็นต์และปลาป่นชั้นคุณภาพที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (กองวัตถุดิบอาหารสัตว์, 2553)



ภาพ 1 วัตถุดิบอาหาร “ปลาป่น”

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทโปรตีนจากพืช

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพสูงสุด มีกรดอะมิโนจำเป็นหลายตัว แต่มี cystine และ methionine ในระดับต่ำโดยเฉพาะ methionine มีน้อยมากจึงถูกจัดเป็น first limiting amino acid เมื่อกากถั่วเหลืองมีโปรตีนประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16–21 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อสกัดเอาน้ำมันออกแล้วจะมีโปรตีนเหลือ 44 เปอร์เซ็นต์อาจถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับวิธีสกัดน้ำมันและขนาดของเมล็ด ในทางการค้าได้แบ่งออกเป็น 2 เกรด คือกากถั่วเหลือง 44 เปอร์เซ็นต์และ 48 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 44 เปอร์เซ็นต์ เป็นกากถั่วเหลืองที่มีเปลือกผสมอยู่ด้วย ส่วน กากถั่วเหลือง 48 เปอร์เซ็นต์คือกากถั่วเหลืองที่กะเทาะเอาเปลือกออก ไม่มีส่วนของเปลือกปนมาเลย ถั่วเหลืองดิบมีสารพิษอยู่มาก มีทั้งสารที่เป็นตัวกระตุ้น และแก่งแย่ง รวมทั้งสารที่ทำให้เกิด การแพ้ภูมิ สาร goitrogenic และสารด้านการจับตัวเป็นก้อน และที่สำคัญคือ trypsin inhibitor ดังนั้นในกรณีของถั่วเหลือง จึงพบว่าถั่วเหลืองที่โดนความร้อนจะมีคุณค่าของโภชนะสูงกว่าถั่วดิบ แต่หากความร้อนที่ให้สูงเกินไปจะทำให้คุณค่าของโภชนะเสียได้ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ได้ของ lysine และ arginine ลดลง (พันทิพา, 2539)

กระถิน กระถินเป็นพืชอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดในชนิดหนึ่ง ประโยชน์ของกระถินนั้นมีมากมาย ใบกระถินใช้เลี้ยงสัตว์ได้ทุกชนิด เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบผสมในอาหารชั้น ทั้งอาหารไก่เนื้อ ไก่ไข่ สุกร โคเนื้อ โคนม ใบกระถินสดใช้เลี้ยงโคเนื้อ โคนม กระบือ แพะ แกะ ได้โดยไม่มีข้อจำกัด ใบกระถินนำมาตากแห้งใส่กระสอบเก็บไว้เลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งได้ ปัจจุบันในประเทศไทย มีการปลูกกระถินเพื่อทำใบกระถินแห้งและผลิตใบกระถินป่น ปีละประมาณ 60,000 ตัน โดยมีแหล่งผลิตใหญ่อยู่ในหลายจังหวัดในเขตภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง

บางส่วน ในขณะที่เดียวกันจังหวัดนครราชสีมาก็เป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่ผลิตใบกระถินแห้งและกระถินป่นส่งจำหน่ายให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และโรงงานผสมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะฟาร์มเกษตรกรโคนมในพื้นที่ ซึ่งมีฟาร์มเกษตรกรโคนมเป็นจำนวนมากที่มีความต้องการการนำใช้ทั้งกระถินแห้งและกระถินป่นมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ให้ผลิตน้ำนมสูงและมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอเนื่องจากในใบกระถินมีโปรตีนสูง มีเชื้อใยต่ำ ที่สำคัญมีราคาค่อนข้างถูก และหาได้ง่ายในท้องถิ่น (จรูญโรจน์ และคณะ, 2552)



ภาพ 2 วัตถุดิบอาหาร “กากถั่วเหลือง”

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทคาร์โบไฮเดรต

รำละเอียด เป็นวัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น รำหยาบ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน ซึ่งในรำข้าวจะมีกรดไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย โดยเฉพาะรำข้าวใหม่จะมีกลุ่มไขมันกลุ่ม $\Omega 3$ และ $\Omega 6$ ในปริมาณสูงนอกจากนี้รำข้าวยังมีเชื้อใยสูง ส่งผลให้ปลาจับถ่ายได้ดีขึ้น ปกติแล้วรำละเอียดจะมีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ 12-15 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 3) สำหรับการเก็บรักษารำข้าวเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ควรเก็บให้มิดชิด อย่าให้อากาศผ่านเข้ามามากเกินไป รวมถึงต้องระวังแมลงจำพวกมอดหรือมดซึ่งจะก่อความเสียหายต่อรำข้าวได้ (นิวุฒิ, 2549)

ปลายข้าว จัดเป็นผลพลอยได้ของการขัดสีข้าว ซึ่งก็เป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารสัตว์น้ำ ทั้งในลักษณะของปลายข้าวเหนียว และปลายข้าวเจ้า การใช้ปลายข้าวเหล่านี้ควรใช้ปลายข้าวขนาดเล็กในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ไม่ควรใช้ปลายข้าวขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ เพราะปลายย่อยได้ยาก การนำปลายข้าวมาหนึ่งหรือต้มก่อนนำไปผลิตอาหารจะช่วยให้ปลายย่อยอาหารดีขึ้น (ภาพ 3) โดยเฉพาะกรณีที่ใช้ปลายข้าวเหนียวจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องต้มหรือหนึ่ง

ก่อนนำมาผลิตอาหาร เนื่องจากมีความเหนียวมากกว่าปลายข้าวเจ้า โดยทั่วไปปลายข้าวจะมีไขมันและเยื่อใยอยู่ในระดับต่ำในปริมาณ 0.9-1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสามารถนำมาผสมในสูตรอาหารได้ดีทั้งยังมีโปรตีนอยู่พอสมควรประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ปลายข้าวเป็นวัตถุดิบที่มีราคาค่อนข้างถูก เมื่อเทียบกับวัตถุดิบที่มีคุณค่าใกล้เคียงกัน เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อีกทั้งเก็บรักษาได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับการทำอาหารสัตว์น้ำ (เจษฎา, 2549)



ภาพ 3 วัตถุดิบอาหาร “รำ และ ปลายข้าว”

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทวิตามินและแร่ธาตุ

วิตามินและแร่ธาตุที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารมักอยู่ในรูปสารประกอบเคมีและเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในปริมาณน้อยมากในสูตรอาหาร จึงทำให้เกิดปัญหา ในการผสมให้ทั่วถึงในทุกๆ ส่วน ดังนั้นจึงไม่นิยมผสมวิตามิน และแร่ธาตุ ในตัว อาหารโดยตรง จึงมักถูกผสมไว้ก่อนล่วงหน้ากับสื่อบางชนิด เช่น กากถั่วเหลือง รำ แกลบบด หรือหินปูน แล้วเรียกสารผสมเหล่านี้ว่า “สารผสมล่วงหน้า (พรีมิกซ์)” (ภาพ 4) บางครั้งอาจเรียกว่า “อาหารเสริม” (กรมประมง, 2554)

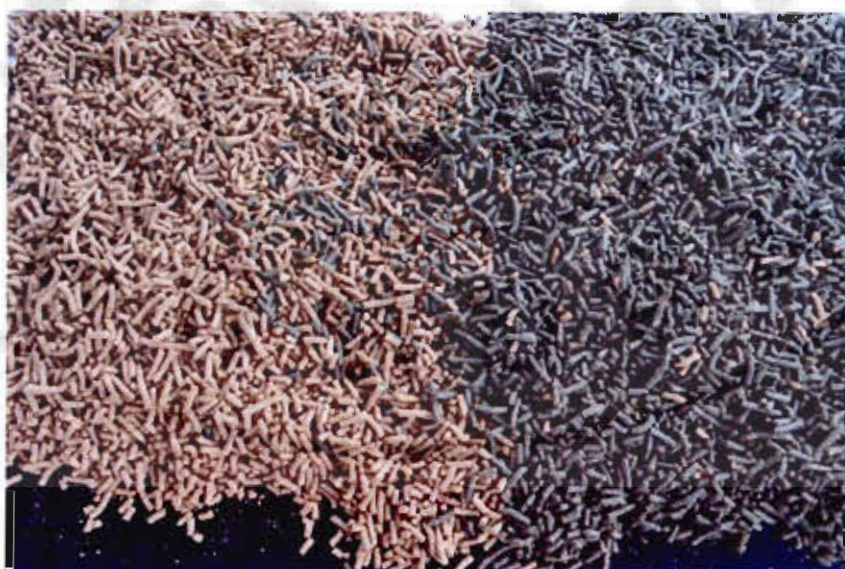


ภาพ 4 วัตถุดิบอาหาร “วิตามินรวม”

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทให้พลังงานสูง

โดยทั่วไปแล้ววัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทนี้ได้แก่ น้ำตาลทราย กากน้ำตาล และไขมัน ชนิดต่าง ๆ แต่ สำหรับทางด้านโภชนาการอาหารสัตว์น้ำแล้วจะหมายถึงไขมันชนิดต่าง ๆ เนื่องจากปลาและสัตว์น้ำทั่วไปใช้น้ำตาลทรายและกากน้ำตาลได้น้อยมาก จึงไม่มีการใช้ในการผลิตอาหารปลา การใช้ไขมันหรือน้ำมันผสมในอาหารปลานิยมใช้ในสูตรอาหารที่มีพลังงานต่ำ และเชื้อไขสูง เนื่องจากอาหารที่มีลักษณะดังกล่าวทำให้ปลาเจริญเติบโตช้าจึงอาจต้องใช้ น้ำมันปลา หรือน้ำมันพืชเพิ่มเข้าไป น้ำมันที่นิยมใช้ในสูตรอาหารปลา ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำ น้ำมันข้าวโพด น้ำมันพลาสติก น้ำมันตับปลาหมัก หรือน้ำมันตับปลาชนิดอื่น ๆ เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้ส่วนใหญ่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบทำให้ปลาเจริญเติบโตได้ดี และอีกทั้งยังมีกลิ่นหอมช่วยกระตุ้นการกินอาหารให้ดีขึ้น การใช้ไขมันเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารปลาไม่ควรใช้เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะอาจทำให้ต้นทุนอาหารสูงขึ้น (กรมประมง, 2554)

อาหารเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงมาก การผลิตอาหารมีทั้งอาหารสำเร็จรูปเม็ดลอยที่มีขายในท้องตลาด และ อาหารผลิตเองเป็นอาหารจมน้ำ (ภาพ 1) ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีราคาสูงเหมือนกัน และ ในการศึกษาด้านอาหารส่วนใหญ่จะศึกษาในด้านการเจริญเติบโตเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ และการนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำ ดังนั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการต้องการที่แท้จริงของปลานิเทศในการเจริญเติบโต ก็จะเป็นการใช้อาหารได้ประโยชน์สูงสุด และ ไม่มีการปล่อยทิ้งของสารอาหารออกสู่สภาพแวดล้อม



ภาพ 5 อาหารสัตว์น้ำผลิตแบบอาหารจม

เอนไซม์ย่อยอาหาร

เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลง จนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย

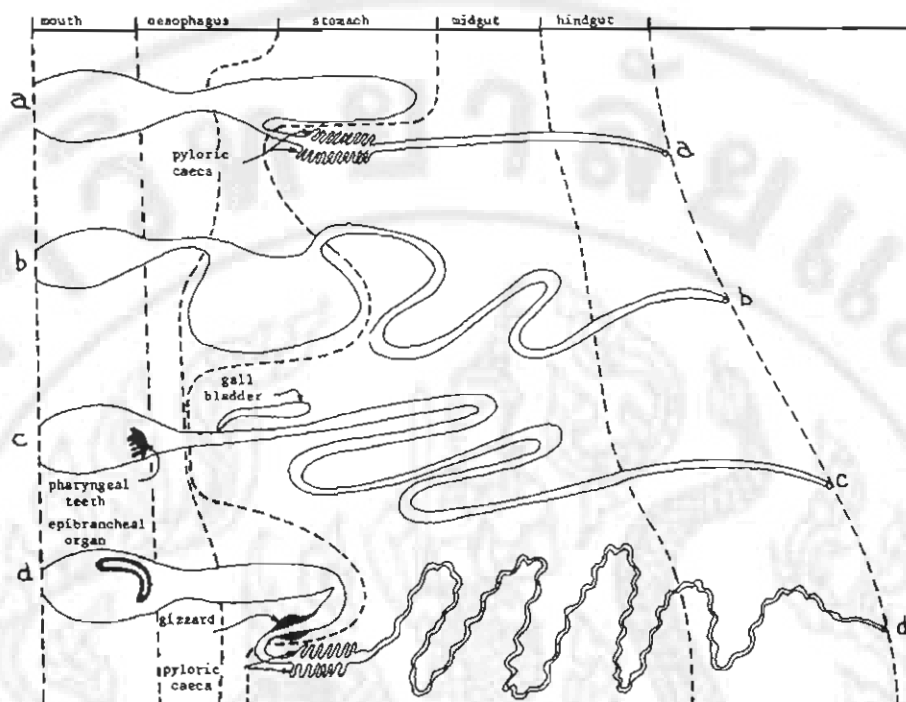
อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ของปลา

จากการศึกษาของ Wee (1992) พบว่าเอนไซม์ต่าง ๆ ที่พบอยู่ในกระบวนการย่อยอาหารจากอวัยวะ ดังนี้ กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และตับอ่อน ได้ผลดังที่แสดงไว้ในตาราง 2 และภาพ 2

ตาราง 1 อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ย่อยอาหารของปลา

เอนไซม์ย่อยอาหารของปลาที่ผลิตจากอวัยวะต่างๆ		
กระเพาะอาหาร	ลำไส้	ตับอ่อน
เอนไซม์เปปซินोजีน	เอนเทอร์โรไคโนเอส	ทริปซินोजีน
กรดไฮโดรคลอริก	อะมิโนเปปติเดส	โคโมทริปซินोजีน
เอสเทอเรส	โคเปปติเดส	ไลเปส
คาร์โบไฮเดรต	ไตรเปปติเดส	อะไมเลส
ไคตินเอส	ไลเปส	ไคตินเอส
	เลซิทินเนส	
	อะไมเลส	
	กลูโคซิเดส	
	กาแลคโตซิเดส	
	โคโคโบเอส	

ที่มา: Wee (1992)



ภาพ 6 อวัยวะย่อยอาหารในปลาแต่ละชนิด

ที่มา Smith, 1980

เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีน

เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ทั้งในกระเพาะอาหารและในลำไส้เล็ก เช่น เปปซิน โดยกระเพาะจะหลั่งกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปปซินोजেন โดยเอนไซม์เปปซินจะทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 1.5-3.0 และย่อยโปรตีนโดยจะแยกพันธะเปปไทด์ระหว่างกรดอะมิโนชนิดอะโรมาติก เช่น ฟีนิลอะลานีน และไทโรซีนจนได้โปรหรืออส ซึ่งเป็นสายของกรดอะมิโนที่มีความยาวต่างกันก็จะถูกส่งไปย่อยต่อยังลำไส้ (Lovell, 1989)

เอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยได้จากการคัดหลั่งของผนังลำไส้เล็ก และตับอ่อน เช่น เอนไซม์ทริปซินโนเจน และโคโมทริปซินโนเจน ซึ่งจะย่อยโปรตีนได้ต้องถูกกระตุ้นจากเอนไซม์เอนเทอร์โรไคเนส จากลำไส้เล็ก โดยเปลี่ยนจากทริปซินโนเจนไปเป็นทริปซิน ส่วนโคโมทริปซินโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นโคโมทริปซิน ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ (Lovell, 1989)

โดยทั่วไปค่า pH ของปลาจะมี pH อยู่ในช่วง 7-9 และขณะย่อยอาหาร จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่มีการหลั่งกรดไฮโดรคลอริกออกมา การย่อยจึงเกิดขึ้นในลำไส้เล็กเท่านั้น (วีรพงษ์, 2536) เอนไซม์ทริปซินและโคโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรตีนที่ถูกส่งมาจากกระเพาะอาหารจนได้เป็น เปปโตนซึ่งเป็นเปปไทด์ที่สายสั้นลงมา และโพลีเปปไทด์ตามลำดับ จากนั้นกลุ่มอะมิโนเปปติเดส และคาร์บอกซิเปปติเดส ย่อยโพลีเปปไทด์ จนได้กรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด

เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

ปลาส่วนมากนั้นมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำมาก แต่จะแตกต่างกันตามชนิดของปลา เอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ อัลฟา อะไมเลส ซึ่งจะย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลูโคสและมอลโตส โดยจะย่อยแป้งที่พันธะแอลฟา 1,4 กลูโคไซด์ เมื่ออาหารผสมกับมิวคัส (mucus) และแกสติก จูส จนอาหารกลายเป็นของเหลว แล้วจะถูกส่งไปยังลำไส้ส่วนต้น (Lovell, 1989) หลังจากนั้นจะกระตุ้นผนังลำไส้ให้หลั่งน้ำย่อยหลายชนิด ได้แก่ อะไมเลส กลูโคซิเดส และกาแลคโตซิเดส ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้งและไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ มอลโตไดร โอส และมอลโตส (Wee, 1992) นอกจากนี้ยังพบน้ำย่อยมอลเตส ซูเครส แลคเตส และเซลลูเลส อาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้ง และไกลโคเจนจะถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส ฟรุคโตส และกาแลคโตส

เทคนิค *in vitro* digestibility

เทคนิค *in vitro* digestibility สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวัตถุดิบอาหาร และการย่อยได้ คือ สำหรับผู้ผลิตอาหารหรือโรงงานผลิตอาหาร สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารตรวจสอบกรรมวิธีการผลิต ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารที่ดี สำหรับเกษตรกร สามารถตรวจสอบเพื่อคัดเลือกอาหารที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยของสัตว์

ข้อดีของเทคนิค *in vitro* digestibility คือ สะดวก ใช้เวลาน้อย ค่าใช้จ่ายไม่แพง สามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ลดต้นทุนการผลิต และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังใช้ทำนายการเจริญเติบโตของปลาแซลมอนได้ล่วงหน้า 3 เดือน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์ทั้งชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันได้ (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002) จากการศึกษา isozymes ของเอนไซม์ทริปซินที่สกัดจากลำไส้ของปลาแซลมอน *Salmon salar* L พบว่ามีบทบาท

สำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารในช่วงที่มีการเจริญเติบโต ส่วนเอนไซม์โคโมทริปซินมีบทบาทสำคัญในช่วงอดอาหาร (Rungruangsak-Torissen et al., 2002)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา *in vitro* digestibility จันทกานต์ (2550) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนส พบว่า เอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนสสามารถย่อยเนื้อหอย *Corbicula* sp. ได้ดี เนื่องจากสัมพันธ์กับการที่หอยเป็นอาหารหลักของปลาสร้อย การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลาคือสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ ในขณะที่ไขมันถือเป็นแหล่งพลังงานสำรอง เอนไซม์โปรติเนสที่สำคัญคือเอนไซม์ทริปซิน เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion efficiency; FCE) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) มีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในสูตรอาหาร 6 ชนิดโดยวิธี 6-trinitrobenzenesulfonate (TNBS) ที่มีแหล่งโปรตีนประกอบด้วยปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลาหมึกป่น พบว่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทั้ง 6 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Divakaran et al., 2004) แต่เมื่อนำไปทดลองเลี้ยงจริงพบว่าสูตรอาหารที่มีกากถั่วเหลืองมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้น (Divakaran et al., 2000)

การศึกษาการย่อยอาหารโดยวิธี *in vitro* digestibility เป็นวิธีการดัดแปลงจาก Rungruangsak-Torissen et al. (2002) มีการศึกษา โดยยุทธนา และ คณะ (2550) ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮฟาโตแพนเครียส กระเพาะและ ลำไส้ ของ กุ้งขาว กุ้งก้ามกราม และ กุ้งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กุ้งย่อยได้ดี คือ ปลาซัว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์

Thongprajukaew et al. (2011) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารในปลากัดด้วยรุ่น อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผ่านรังสีแกมมาที่ระดับ 20 40 60 และ 80 kGy และอาหารที่ผ่านไมโครเวฟ 4 8 12 16 และ 20 นาที และอาหารชุดควบคุม ซึ่งการศึกษานี้จะตรวจสอบค่าความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต เทียบกับสารมาตรฐานคือ มอลโตส กับ ความสามารถในการย่อยโปรตีนเทียบกับสารมาตรฐานคือ DL-อะลานีน โดยใช้วิธีย่อยในหลอดทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการย่อยโปรตีนในอาหารทุกชุดทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

ที่ผ่านไมโครเวฟ 8 นาที ให้ผลการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาจึงเป็นการคัดเลือกสูตรอาหารเพื่อใช้ในการทดลองเรื่องอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากัดวัยรุ่น

Perera et al. (2012) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของเอนไซม์ย่อยอาหารของล็อบสเตอร์ และ การศึกษาสัณยภาพของการย่อยโปรตีนโดยดูรูปแบบการย่อยของเอนไซม์ทริปซิน โดยใช้เซลล์ย่อยอาหารจำลองที่ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Gauthier et al. (1982) ทำการย่อยวัตถุดิบ 5 ชนิด คือ หมึกป่น ปลาแมคเคอเรลป่น ปลาแฮริงป่น กากถั่วเหลือง และ ถั่วเหลือง ในหลอดทดลอง และใช้เอนไซม์ทริปซิน 3 แบบในการย่อย และใช้ L-ลิวซีน เป็นสารมาตรฐาน ผลการทดลอง พบว่า ทริปซินชนิด a ย่อยหมึกป่น และ ปลาแมคเคอเรลป่น ได้สูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การทดลองที่สองได้ทำการหาขนาดของโปรตีนที่ย่อยจากเอนไซม์ย่อยอาหารของล็อบสเตอร์ในวัตถุดิบอาหาร พบว่า ทั้งสามรูปแบบของเอนไซม์ย่อยอาหารไม่มีความแตกต่างกันในวัตถุดิบแต่ละตัว

Zhang et al. (2010) ได้ศึกษาการย่อยโปรตีนของปลายข้าวสองชนิด คือ ข้าวอินเดียน และข้าวญี่ปุ่น ในหลอดทดลอง (*in vitro*) โดยใช้วิธี pH-drop ที่ใช้เอนไซม์ 3-4 ตัวในระบบการศึกษา พบว่า โปรตีนในข้าวทั้งสองชนิดเหมือนกัน ซึ่งเหมือนกับการศึกษาในหลอดทดลองที่ใช้เอนไซม์ในคน การปรุงอาหารทำให้มีการปรับปรุงการย่อยโปรตีนในระบบการศึกษาที่ใช้เอนไซม์ 4 ชนิด ซึ่งพบว่ามีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีนที่ตรวจสอบพบ และ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเอนไซม์อะไมโลส การวิเคราะห์ โดยใช้ SDS-PAGE พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการย่อยโปรตีน ระหว่าง เอนไซม์หลายชนิดกับเอนไซม์เปปซิน จากการทดลองนี้ พบว่า การย่อยโปรตีนในข้าวญี่ปุ่นมีสูงกว่าข้าวอินเดียน ซึ่งการทดลองนี้เป็นการทดลองที่สนับสนุนว่า ยีนที่สร้างสารเคลือบไม่ได้เป็นยีนที่ใช้ในการย่อยโปรตีนในปลายข้าว

Cousin et al. (1996) ได้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และ ไขมัน ของ กุ้งขาวขนาด 18-25 กรัม ที่ให้อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน 8 แหล่ง คือ แป้งข้าวโพดท้องถิ่น แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วในท้องถิ่น แป้งเคลือบแว็กซ์ แป้งข้าวโพดจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง แป้งมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่งจากแหล่งอื่น แป้งมันฝรั่งที่ย่อยแล้ว และแป้งสาลีท้องถิ่น ใช้ตัวตรวจวัดเป็น โครมิกออกไซด์ การทดลองจะตรวจสอบการละลายน้ำ และ วัดการย่อยในหลอดทดลองร่วมด้วย โดยใช้เอนไซม์จากกุ้ง ผลการทดลอง พบว่า การละลายน้ำของแป้งที่เป็นพืชในท้องถิ่นอยู่ระหว่าง 0.06-0.69 เปอร์เซ็นต์

ส่วนแป้งที่ย่อยแล้วอยู่ในช่วง 55-85 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยอยู่ระหว่าง $17-89 \times 10^{-4}$ ไมโครกรัม ต่อนาที่ต่อกรัม การศึกษาในหลอดทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแป้งแต่ละแหล่ง ซึ่งพบว่าค่าของการย่อยเป็นค่าที่เหมาะสมกว่าค่าการละลายน้ำในการศึกษาเรื่องการย่อยในหลอดทดลอง

Hillestad et al. (1999) ศึกษาการย่อยอาหารในอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงปลาแซลมอน โดยเปรียบเทียบการชะของตัวตรวจวัดในวัตถุดิบอาหารและความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้ โดยใช้ La_2O_3 เป็นตัวจับอาหาร และมีตัวตรวจวัดสองตัว คือ Y_2O_3 และ Cr_2O_3 ผลการทดลองพบว่า การชะที่น้อยที่สุด คือ ใช้ อัลจินเนต 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับน้ำระดับน้ำ 35 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยในการทดลองทั้งสองชุด คือ ชุดที่เป็นอาหารที่ขายในท้องตลาด และ อาหารจม พบว่า มีความแตกต่างกัน คือ ชุดของอาหารจมนี้น้อยกว่า ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า อาหารจมนี้อาจมีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาแซลมอนมากกว่า

Aslaksen et al. (2007) ศึกษาแหล่งของโปรตีนจากพืช และ/หรือ คาร์โบไฮเดรตจากพืช แตกต่างกัน 10 ชนิด ต่อการเลี้ยงปลาแซลมอนในน้ำทะเล ในสูตรอาหารพื้นฐานประกอบด้วย ปลาป่น ถั่ว faba กากดาวเรือง และ กากข้าวสาลี เป็นแหล่งของโปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ โปรตีนข้าวโพด กากถั่วเหลืองไม่มีไขมัน ดอกทานตะวันไม่มีไขมัน ถั่ว lupin กระเทาะเปลือก เมล็ดของต้นเรพ ถั่ว faba ทั้งเมล็ด ถั่ว faba ที่กระเทาะเปลือก ข้าวสาลี และ ข้าวโอ๊ต โดยแทนที่ในอาหาร 14-24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องมีการทำให้สูตรอาหารสมดุล และสูตรอาหารควบคุม ประกอบด้วย ปลาป่น แป้งสาลี เซลลูโลส และ น้ำมันปลา ผลการทดลอง พบว่า มีพืชหลายชนิดที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ถั่ว faba ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นบางส่วนได้ในการเลี้ยงปลาแซลมอน

Hansen et al., (2007) ได้วิจัยเกี่ยวกับการทดแทนปลาป่นโดยใช้โปรตีนรวมจากพืช และเสริมกรดอะมิโนบางตัวเพิ่มลงไป โดยทำการเลี้ยงในปลาคอด พบว่า โปรตีนรวมจากพืชสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้สูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ปลาป่น

Pavasovic et al. (2007) ได้ศึกษาถึงศักยภาพของวัตถุดิบอาหาร คือ ปลาป่น กระดุกป่น ไก่บด ถั่วเหลืองป่น คาโนลา ถั่ว lupin และ บริเวอร์ยีสต์ เพื่อเป็นอาหารสำหรับกุ้งก้ามแดง โดยใช้วัตถุดิบแต่ละตัวในสูตรอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาการย่อยรวมถึงสัมประสิทธิ์การย่อย และ ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ควบคู่กันไปด้วย การศึกษา พบว่า อาหารที่มีถั่วเหลืองป่น มีค่าการย่อยสูงที่สุด ในขณะที่กระดุกป่นในค่าการย่อยต่ำที่สุด ผลโดยรวมทั้งหมด พบว่า

ค่าโปรตีนรวมในพืชมีสูงกว่าในสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาเรื่องกิจกรรมการทำงานของ เอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส และ ลิเปส พบว่า เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต และไลเปส มีค่ากิจกรรมการทำงานในพืชสูงกว่าในสัตว์

Smith et al. (2007) ได้ศึกษาพืชชนิดใหม่ คือ ถั่วชนิดหนึ่ง (lupin) จำนวน 6 สายพันธุ์ ในการเลี้ยงกิ้งก่ามรกต โดยศึกษาการย่อยวัตถุดิบอาหาร การย่อยโปรตีน และการย่อยพลังงาน โดยใช้ ytterbium acetate ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อกิโลกรัม เป็นตัวตรวจสอบในอาหาร เก็บตัวอย่างในมูล โดยให้อาหารทุก 6 ชั่วโมง หลังจากผ่านไป 3 ชั่วโมงจึงเก็บตัวอย่างมูล ผลการศึกษา พบว่า *L. angustifolius* ให้ผลว่า เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการเลี้ยงกิ้งก่ามรกตได้

Terrazas-Fierro et al. (2010) ศึกษาความสัมพันธ์การย่อยโปรตีน และ กรดอะมิโน ของวัตถุดิบอาหาร ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการเลี้ยงกิ้ง ทำการศึกษาในวัตถุดิบที่มาจากทะเล 9 ชนิด คือ ปลาป่น จาก 4 แหล่ง น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น ปูป่น และ หอยเชลป่น โดยวัดค่าโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น ในการเลี้ยงกิ้งขาว และใช้ เปอร์เซ็นต์ ไครมิดออกไซด์ เป็นตัวติดตามตรวจสอบ โดยใช้วัตถุดิบอาหารดังกล่าว 30 เปอร์เซ็นต์ และใช้องค์ประกอบอื่น ๆ 70เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุดิบแห้ง และการย่อยโปรตีน มีค่าแตกต่างกันมาก โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น และ หัวกุ้งป่น มีค่าดีที่สุด (มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยกรดอะมิโนก็มีความแปรปรวนเช่นกัน แต่สามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบอาหารที่ควรนำมาใช้ในสูตรอาหารเลี้ยงกิ้ง คือ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น หอยเชลป่น และ ปลาป่นชนิด A

Nieto-Lopez et al. (2011) ได้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และ กรดอะมิโน ในข้าวสาลี 6 ชนิด คือ HWG, RWG, DWG, HCF, MCF และ S ที่ใช้เลี้ยงกิ้งขาววัยอ่อน มีอัตราส่วนในอาหาร 30เปอร์เซ็นต์ และ ส่วนผสมพื้นฐาน 70เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มโครมิดออกไซด์ และ โซเดียมอัลจิเนต อย่างละ 1เปอร์เซ็นต์ ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหาร ในอาหาร และ ในมูล ผลการศึกษา พบว่า ในวัตถุดิบอาหาร และ สัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันในข้าวสาลีต่างชนิดกัน ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานของการย่อยมีค่าสูงใน HCF และ MCF มากกว่าในข้าวสาลีชนิดอื่นๆ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด และ กรดอะมิโนที่จำเป็นมีค่าในช่วง 81-89เปอร์เซ็นต์ และ 53-81เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของกรดอะมิโนมีค่าน้อยจากไปมากคือ ในข้าวสาลีบด แป้งข้าวสาลี และ S ตามลำดับ

Overland et al. (2009) ได้ทำการศึกษา การแทนที่ปลาปนด้วยโปรตีนจากถั่ว เพื่อเลี้ยงปลาแซลมอน โดยดูการเจริญเติบโต ความสามารถในการย่อยอาหาร คุณภาพซาก สุขภาพของ อวัยวะย่อยอาหาร และ คุณภาพของอาหารปลา ซึ่งการทดลองใช้อาหารทั้งหมด 4 สูตร คือ FM SBM PPC, 35เปอร์เซ็นต์CP และ PPC,50เปอร์เซ็นต์ CP โดยแต่ละสูตรมีการเติม Y_2O_3 สำหรับการตรวจวัดความสามารถในการย่อยอาหารของปลาแซลมอน โดยใช้วิธี marker ratio method ของ Austreng (2000) ผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการย่อยโปรตีน มีค่า ต่ำที่สุดในสูตรอาหาร SBMแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสูตรอาหารที่มีการใช้โปรตีนจากถั่วทดแทน ไม่มีความแตกต่าง กับสูตรอาหารที่ใช้ปลาปน ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า สูตรอาหารจากพืช 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้เลี้ยง ปลาแซลมอนและให้ผลการเจริญเติบโตเหมือนกับสูตรอาหารที่มีปลาปนเป็นองค์ประกอบ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยในเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย มีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านด้วยเอนไซม์ย่อยอาหาร

1. การเตรียมสัตว์ทดลอง

1. อุปกรณ์

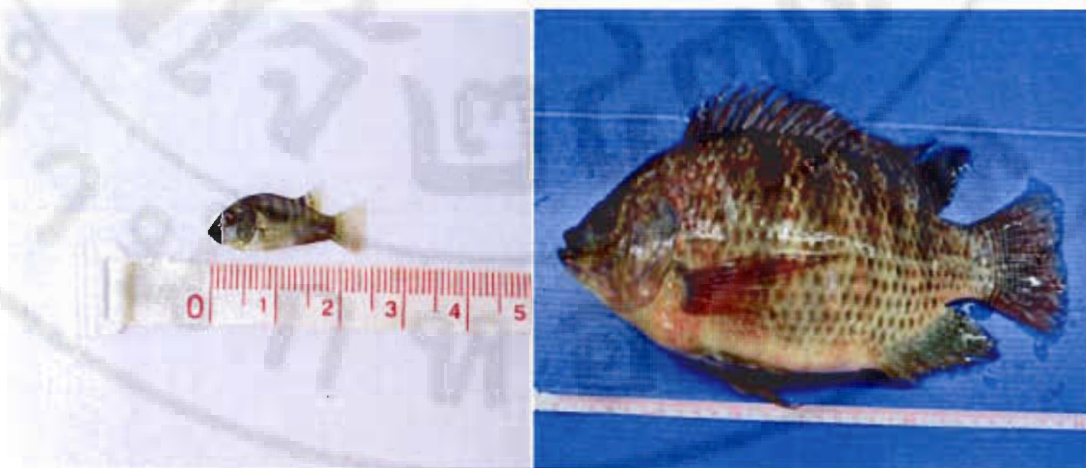
1.1 สายวัดความยาว

1.2 ถาดกั้นแบน

1.3 เครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง

วิธีการ

เก็บตัวอย่างปลานิลในช่วงระยะการเจริญวัยอ่อน และตัวเต็มวัยเพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยใช้ปลานิลวัยอ่อน ขนาด 2 เซนติเมตร จำนวน 30 ตัว และตัวเต็มวัยน้ำหนัก 350 – 400 กรัม จำนวน 3 ตัว (ภาพ 7) บันทึกข้อมูลเบื้องต้น ในส่วนของ น้ำหนัก ความยาว



ภาพ 7 ปลานิลวัยอ่อน และ ตัวเต็มวัยที่ใช้ในการทดลอง

2. การสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร

1. อุปกรณ์

- 1.1 กรรไกรผ่าตัด
- 1.2 มีดผ่าตัด เบอร์ 3
- 1.3 ใบมีดผ่าตัด เบอร์ 10
- 1.4 เครื่อง homogenizer
- 1.5 ปีกเกอร์ขนาด 1000 ml
- 1.6 ปีกเกอร์ขนาด 500 ml
- 1.7 ถาดกันแบน
- 1.8 ถุงมือยาง
- 1.9 Dialysis membrane ยี่ห้อ Cellucept
- 1.10 Clampหนีบ dialysis membrane
- 1.11 เตาทำความร้อน
- 1.12 เครื่องปั่นเหวี่ยง
- 1.13 ตู้เย็น อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
- 1.14 ตู้แช่แข็ง อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส
- 1.15 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้ออุปกรณ์วิทยาศาสตร์

2. สารเคมี

- 2.1 น้ำแข็ง
- 2.2 Phosphate buffer pH 8
- 2.3 10 mM sodium bicarbonate
- 2.4 10 mM Na₂ EDTA
- 2.5 0.05 เปอร์เซ็นต์ sodium azide หรือ 0.10 เปอร์เซ็นต์ sodium benzoate

วิธีการ

2.1 สกัดเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลระยะวัยอ่อน และตัวเต็มวัย โดยปลานิลระยะวัยอ่อน บดละเอียดปลานิลทั้งตัวด้วยเครื่อง homogenizer ส่วนปลานิลตัวเต็มวัยจะแยกส่วนของกระเพาะอาหาร และลำไส้ออกมาบดด้วยเครื่อง homogenizer เช่นกัน ขณะที่ทำการทดลองและ บดส่วนของอวัยวะย่อยอาหารทำในอ่างน้ำแข็งตลอดเวลา (ภาพ 8)



ภาพ 8 การบดอวัยวะย่อยอาหารด้วยเครื่อง homogenizer

2.2 เติม phosphate buffer pH 8 ลงในอวัยวะย่อยอาหารที่บดได้แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000g นาน 20 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสไว้ที่ -80 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาสภาพของเอนไซม์ (ภาพ 9)



ภาพ 9 Crude enzyme ที่ได้จากอวัยวะย่อยอาหาร

2.3 การทำให้เอนไซม์ย่อยอาหารบริสุทธิ์ ด้วยวิธี dialysis

สวมถุงมืออย่างในการปฏิบัติงาน ตัดถุงเมมเบรนยี่ห้อ Cellucept ตามขนาดที่ต้องการ และแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำเมมเบรนที่ได้ แช่ในสารละลาย 10 mM sodium bicarbonate ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นย้ายไปแช่ในสารละลาย 10 mM Na_2EDTA นาน 30 นาที นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (กวนตลอดเวลา) รอให้อุณหภูมิลดลง เก็บไว้ในสารละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ ethanol solution ล้างด้วยน้ำกลั่น และตามด้วย phosphate buffer pH 8 ก่อนใช้งานทุกครั้ง ปิดปลายถุงเมมเบรน ข้างหนึ่งด้วย clamp หนีบ จากนั้นเติม เอนไซม์เข้าไป แล้วปิดด้วย clamp หนีบอีกข้างเช่นกัน (ภาพ 10) แช่ตัวอย่างเอนไซม์ในสารละลาย phosphate buffer pH 8 อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้น เก็บเอนไซม์ใน dialysis membrane ไว้ในหลอดทนความเย็นแบบมีฝาปิด (ภาพ 11) ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส



ภาพ 10 ถุงเมมเบรนที่เติมเอนไซม์ในถุง ก่อนนำไปแช่ใน buffer



ภาพ 11 การปั่นเหวี่ยงเอนไซม์เพื่อเก็บส่วนใสใช้ในการศึกษากิจกรรมการทำงาน

3. ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหาร

1. วัตถุดิบอาหาร

- 1.1 กากนมถั่วเหลือง
- 1.2 สาหร่ายสไปรูลินา
- 1.3 ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์)
- 1.4 ใบกระถินป่น
- 1.5 ถั่วเขียว
- 1.6 รำข้าว
- 1.7 บริเวอร์ยีสต์
- 1.8 เมล็ดดอกทานตะวัน
- 1.9 ถั่วลิสง
- 1.10 ถั่วดำ
- 1.11 สาหร่ายไส้ไก่
- 1.12 ถั่วแดงหลวง
- 1.13 กากถั่วเหลือง

1.14 มวลสุกที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ

1.15 ปลาขี้ขาว

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องบดไฟฟ้า

2.2 ตะแกรงร่อน ขนาด 50 mesh

2.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.4 เครื่อง vortex mixer

2.5 ตู้ปั่นแบบควบคุมอุณหภูมิ

2.6 เครื่อง centrifuge

2.7 เครื่อง spectrophotometer

2.8 บีกเกอร์ขนาด 1000 ml

2.9 บีกเกอร์ขนาด 500 ml

2.10 บีกเกอร์ขนาด 200 ml

2.11 Auto pipette 1 ml

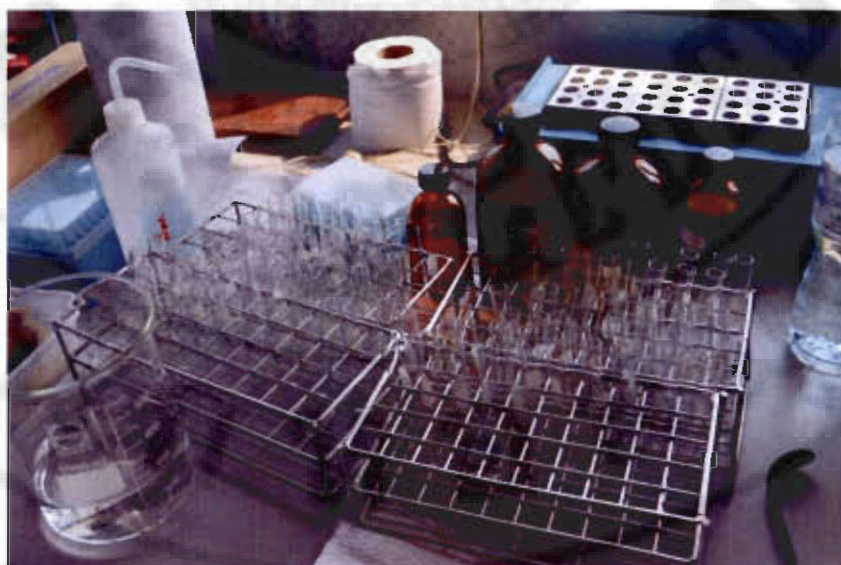
2.12 Auto pipette 0.1 ml

วิธีการ

นำวัตถุดิบอาหารทั้ง 15 ชนิดมาบดให้ละเอียด ด้วยเครื่องบดแบบไฟฟ้า ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 mesh เก็บเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรงได้เพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอน *in vitro* digestibility โดยดัดแปลงวิธีการของ Rungruangsak-Torissen et al. (2002) (ภาพ 12 และ 13) โดยการชั่งวัตถุดิบอาหาร 5 mg ผสมกับ 10 mM phosphate buffer pH8 และ chloramphenicol 50 µl ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บเฉพาะ ส่วนใส่นำสารละลายที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง 1.5 ml ผสมกับเอนไซม์ 250 µl และนำไปเขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาทีปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บเฉพาะส่วนใส่นำมาทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต



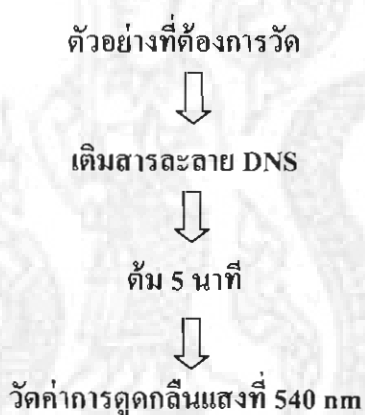
ภาพ 12 วัตถุดิบอาหารที่ใช้ในการศึกษา *in vitro* digestibility



ภาพ 13 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และ การทำ *in vitro* digestibility

การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต

นำตัวอย่างจากขั้นตอน *in vitro* digestibility ปริมาตร 500 μ l เติมสารละลาย DNS 500 μ l ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer คัมในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลง เติมน้ำกลั่น 2.5 ml นำไปวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (ดังภาพ 14) เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้ maltose



ภาพ 14 การวัดความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต

การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีน

นำตัวอย่างจากขั้นตอน *in vitro* digestibility ปริมาตร 400 μ l เติมน้ำละลาย 0.1 เปอร์เซ็นต์ TNBS 0.5 ml และ phosphate buffer pH 8 ปริมาตร 1 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer บ่มในที่มืด อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที เติมน้ำละลาย 1M HCl ปริมาตร 1 ml วัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบกราฟมาตรฐาน โดยใช้ DL-Alanine

ตัวอย่างที่ต้องการวัด



เติมน้ำ TNBS



บ่มในที่มืด 60 นาที



วัดค่าการดูดกลืนแสง 420 nm

หลังการตรวจสอบความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในวัตถุดิบ ทำการวัตถุดิบที่ให้ค่าการย่อยโปรตีนสูงเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงปลา

ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย พบว่าศึกษาในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกร ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ดด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิล ผลการศึกษาในแต่ละเอนไซม์ มีดังนี้

ผลการตรวจสอบการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารในปลาว่ายอ่อนและเต็มวัย สามารถแยกเป็นตารางได้ดังนี้ (ตาราง 2)

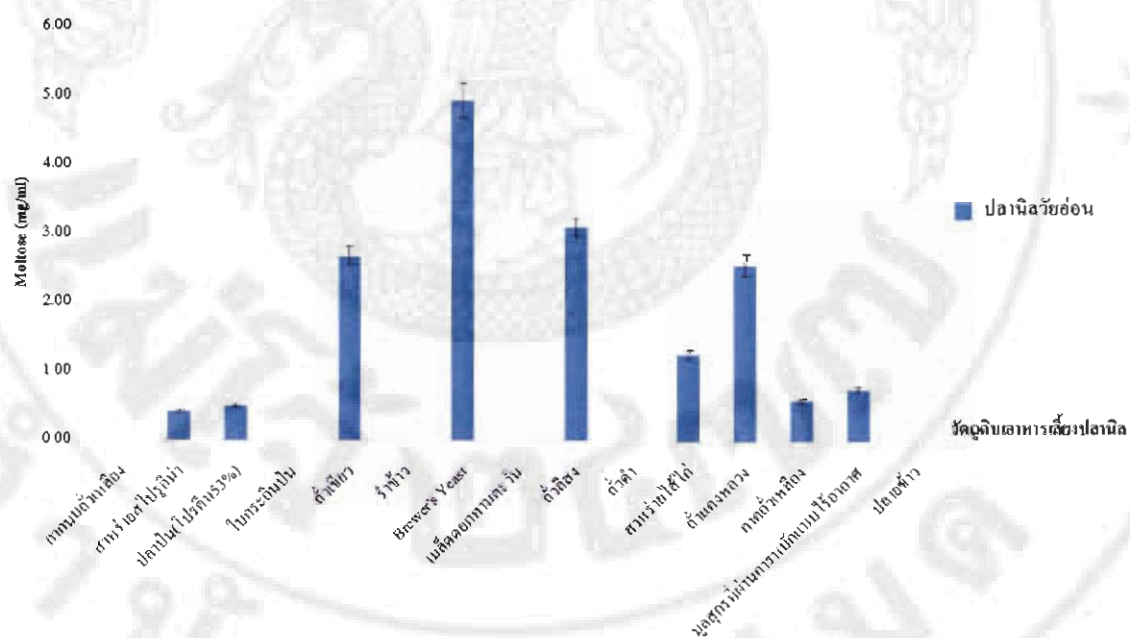
ตาราง 2 แผนการวัดเอนไซม์ย่อยอาหารในการทดลอง

เอนไซม์ย่อยอาหาร	Maltose(mg/ml)	DL-Alanine(mg/ml)
ปลานิลวัยอ่อน	X	X
ปลานิลตัวเต็มวัย		
กระเพาะอาหาร		X
ลำไส้	X	X

การย่อยคาร์โบไฮเดรต

เอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน

การย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลิना ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ไบโกระดินปน ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว ผลการทดลองพบว่า เอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อนย่อยคาร์โบไฮเดรตในบริเวอร์ยีสต์ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ถั่วลิสง ถั่วเขียว และ ถั่วแดงตามลำดับ มีค่าดังนี้ 4.950 ± 0.25 , 2.556 ± 0.13 , 2.682 ± 0.13 และ 3.101 ± 0.16 mg/ml ตามลำดับ (ภาพ 15, ตาราง 3)



ภาพ 15 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน

เอนไซม์จากปลานิลเต็มวัย

การย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายได้แก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาข้าว ผลการทดลองพบว่า เอนไซม์จากลำไส้ของปลานิลเต็มวัยย่อยกากนมถั่วเหลืองได้ดีที่สุด คือ 1.089 ± 0.05 mg/ml และสามารถย่อย รำข้าว กากถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน และ ใบกระถินป่น มีค่าเท่ากับ 2.179 ± 0.11 , 1.085 ± 0.05 , 1.006 ± 0.05 และ 0.754 ± 0.04 mg/ml ตามลำดับ (ภาพ 16)

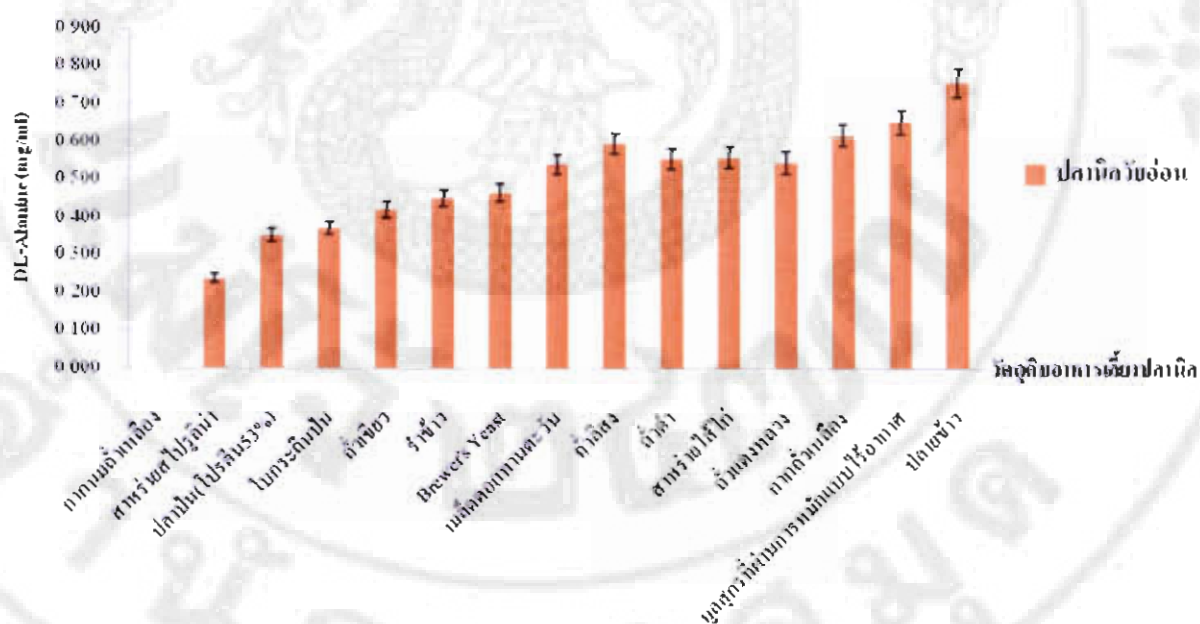


ภาพ 16 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย

การย่อยโปรตีน

เอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน

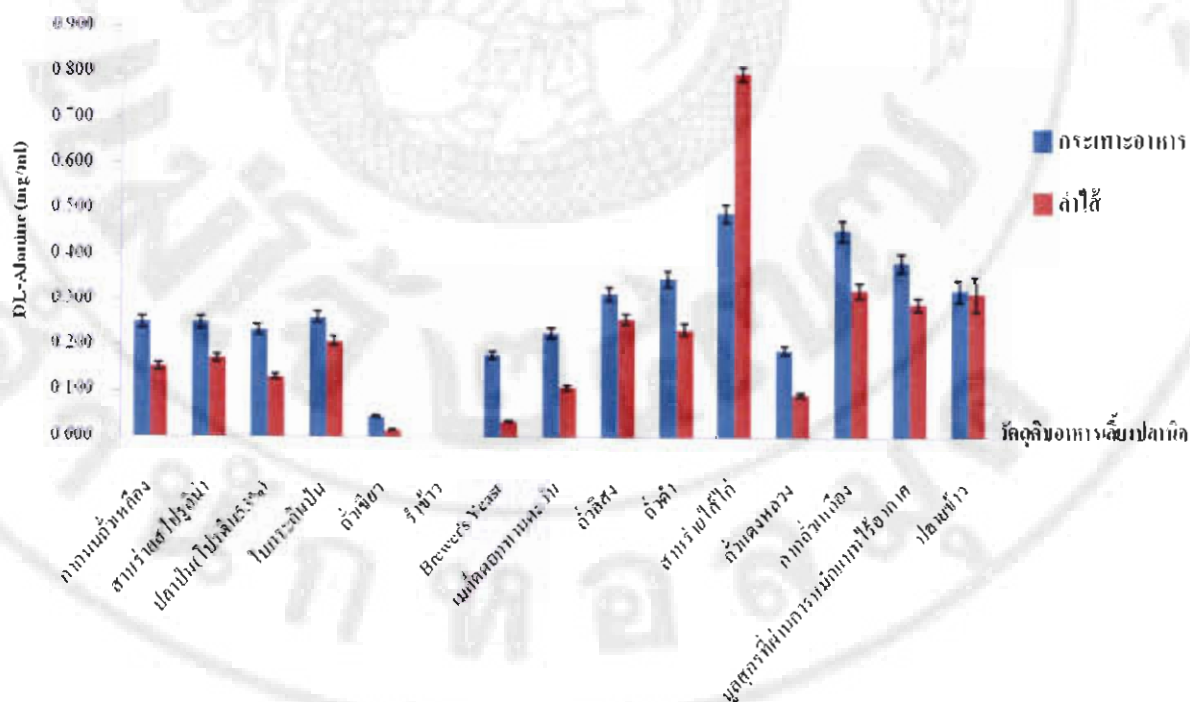
การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอรี่ีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว ผลการทดลอง พบว่า เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อย ปลาขี้ขาว ได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสง ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้ คือ 0.757 ± 0.04 , 0.652 ± 0.03 , 0.619 ± 0.03 และ 0.597 ± 0.03 mg/ml ดังภาพ 17



ภาพ 17 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหาร โดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน

เอนไซม์จากปลานิลเต็มวัย

การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว ผลการทดลองพบว่า **เอนไซม์จากกระเพาะอาหาร** สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ กากถั่วเหลือง และ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ เป็นลำดับถัดมา มีค่าดังนี้ 0.488 ± 0.02 , 0.451 ± 0.02 และ 0.38 ± 0.02 mg/ml ตามลำดับ ในขณะที่ **เอนไซม์จากลำไส้** สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสงเป็นลำดับถัดมา มีค่าเท่ากับ 0.794 ± 0.04 , 0.321 ± 0.02 และ 0.257 ± 0.01 mg/ml ตามลำดับ ดังภาพ 18



ภาพ 18 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหาร โดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย

ตาราง 3 ความสามารถในการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารของเอนไซม์

วัตถุดิบอาหารเลี้ยงปลานิล	ปลานิลวัยอ่อน		กระเพาะอาหาร(ปลานิลตัวเต็มวัย)	ลำไส้(ปลานิลตัวเต็มวัย)	
	Maltose(mg/ml)	DL-Alanine(mg/ml)	DL-Alanine(mg/ml)	Maltose(mg/ml)	DL-Alanine(mg/ml)
กากนมถั่วเหลือง	nd	nd	0.25±0.01	3.51±0.18	0.153±0.01
สาหร่ายสไปรูลิน่า	0.419±0.02	0.238±0.01	0.25±0.01	0.514±0.02	0.172±0.01
ปลาป่น(โปรตีน53%)	0.503±0.03	0.354±0.02	0.235±0.01	0.335±0.02	0.131±0.01
ใบกระถินป่น	nd	0.372±0.02	0.261±0.01	0.754±0.04	0.209±0.01
ถั่วเขียว	2.682±0.13	0.421±0.02	0.045±0.01	nd	0.015±0.01
รำข้าว	nd	0.451±0.02	nd	2.179±0.11	0.000
Brewer's Yeast	4.95±0.25	0.466±0.02	0.179±0.01	nd	0.034±0.01
เมล็ดดอกทานตะวัน	nd	0.54±0.03	0.227±0.01	1.006±0.05	0.108±0.01
ถั่วลิสง	2.556±0.13	0.596±0.03	0.313±0.02	0.67±0.03	0.257±0.01
ถั่วดำ	nd	0.555±0.03	0.347±0.02	nd	0.235±0.01
สาหร่ายไส้ไก่	1.257±0.06	0.559±0.03	0.488±0.02	0.377±0.02	0.794±0.04
ถั่วแดงหลวง	3.101±0.16	0.544±0.03	0.19±0.01	nd	0.093±0.01
กากถั่วเหลือง	0.587±0.03	0.619±0.03	0.451±0.02	1.089±0.05	0.321±0.02
มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ	0.754±0.04	0.652±0.03	0.38±0.02	0.335±0.02	0.291±0.01
ปลายข้าว	nd	0.756±0.04	0.321±0.02	nd	0.313±0.02

ผลการศึกษาเอนไซม์ย่อยอาหาร พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในบริเวอรี่สต์ และรองลงมาเป็น ถั่วลิสง และ ถั่วเขียว ในขณะที่ความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุดในปลายข้าว และ รองลงมาเป็นมูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสง ตามลำดับ

ในขณะที่เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่า เอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด ที่สุด รองลงมา คือ กากถั่วเหลือง และ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัย พบว่า ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต พบสูงสุดในกากถั่วเหลือง รองลงมาเป็น รำข้าว กากถั่วเหลืองตามลำดับ และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายไส้ไก่ รองลงมาเป็น กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสงเป็นลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า สามารถแยกวัตถุดิบอาหารเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นวัตถุดิบอาหาร และ กลุ่มวัตถุดิบเสริมในท้องถื่น และ พบว่า วัตถุดิบเสริมในท้องถื่นที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้ คือ ถั่วลิสง เพราะ ผลการทดลองที่ได้มีค่าความสามารถในการย่อยโดยเอนไซม์ย่อยอาหารปลานิลวัยอ่อน และ เต็มวัย ได้ดี

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย โดยใช้เทคนิค *in vitro* digestibility ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดีคือ สะดวก ใช้เวลาน้อย ค่าใช้จ่ายไม่แพง สามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวัตถุดิบอาหาร และการย่อยได้ โดยตรวจสอบการย่อยคาร์โบไฮเดรต และ โปรตีน ด้วยวิธีการตรวจสอบคาร์โบไฮเดรตโดยการวัดค่าน้ำตาล maltose และ การตรวจสอบโปรตีนโดยการวัดค่ากรดอะมิโน DL-Alanine จากการศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายใส่ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว ด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน และ เติ่มวัย ผลการทดลอง พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในบริเวอร์ยีสต์ได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในปลาขี้ขาวได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลาเติ่มวัย พบว่าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในกากนมถั่วเหลืองได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายใส่ไก่ได้ดีที่สุด ส่วนเอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายใส่ไก่ได้ดีที่สุด

สอดคล้องกับงานวิจัยของยุทธนา และ คณะ, 2550 ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮพาโตแพนแครีซ กระเพาะและ ลำไส้ ของกุ้งขาว กุ้งก้ามกราม และ กุ้งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กุ้งย่อยได้ดี คือ ปลาขี้ขาว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Thongprajukaew et al. (2011) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารในปลากัดวัยรุ่น อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารผ่านรังสีแกมมาที่ระดับ 20 40 60 และ 80 kGy และอาหารที่ผ่านไมโครเวฟ 4 8 12 16 และ 20 นาที และอาหารชุดควบคุม ซึ่งการศึกษารั้งนี้จะตรวจสอบค่าความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต เทียบกับสารมาตรฐานคือ มอลโตส กับ ความสามารถในการย่อยโปรตีนเทียบกับสารมาตรฐานคือ DL-อะลานีน โดยใช้วิธีย่อยในหลอดทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการย่อยโปรตีนในอาหารทุกชุดทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่ผ่านไมโครเวฟ 8 นาที ให้ผลการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาจึงเป็นการคัดเลือกสูตรอาหารเพื่อใช้ในการทดลองเรื่องอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากัดวัยรุ่น

Pavasovic et al. (2007) ได้ศึกษาถึงศักยภาพของวัตถุดิบอาหาร คือ ปลาป่น กระดุกป่น ไก่บด ถั่วเหลืองป่น คาโนลา ถั่ว lupin และ บริเวอร์ยีสต์ เพื่อเป็นอาหารสำหรับกุ้งก้ามแดง โดยใช้วัตถุดิบแต่ละตัวในสูตรอาหาร 30% และศึกษาการย่อยรวมถึงสัมประสิทธิ์การย่อย และ ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ควบคู่กันไปด้วย การศึกษา พบว่า อาหารที่มีถั่วเหลืองป่น มีค่าการย่อยสูงสุด ในขณะที่กระดุกป่นในค่าการย่อยต่ำที่สุด ผลโดยรวมทั้งทั้งหมด พบว่า ค่าโปรตีนรวมในพืชมีสูงกว่าในสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาเรื่องกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส และ ลิเปส พบว่า เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรท และ ลิเปส มีค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์สูงกว่าในสัตว์

Aslaksen et al. (2007) ศึกษาแหล่งของโปรตีนจากพืช และ/หรือ คาร์โบไฮเดรทจากพืช แตกต่างกัน 10 ชนิด ต่อการเลี้ยงปลาแซลมอนในน้ำทะเล ในสูตรอาหารพื้นฐานประกอบด้วย ปลาป่น ถั่ว faba กากถั่วเหลือง และ กากข้าวสาลี เป็นแหล่งของโปรตีน และ คาร์โบไฮเดรท ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ โปรตีนข้าวโพด กากถั่วเหลืองไม่มีไขมัน ดอกทานตะวันไม่มีไขมัน ถั่ว lupin กระเทาะเปลือก เมล็ดของต้นเรพ ถั่ว faba ทั้งเมล็ด ถั่ว faba ที่กระเทาะเปลือก ข้าวสาลี และ ข้าวโอ๊ต โดยแทนที่ในอาหาร 14-24% ซึ่งต้องมีการทำให้สูตรอาหารสมดุล และสูตรอาหารควบคุม ประกอบด้วย ปลาป่น แป้งสาลี เซลลูโลส และ น้ำมันปลา ผลการทดลองพบว่า มีพืชหลายชนิดที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ถั่ว faba ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทดแทนปลาป่นบางส่วนได้ในการเลี้ยงปลาแซลมอน

ด้านการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์ย่อยอาหาร พบว่า การศึกษา *in vitro* digestibility จันทกานต์ (2550) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนส พบว่าเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนสสามารถย่อยเนื้อหอย *Corbicula* sp. ได้ดี เนื่องจากสัมพันธ์กับการที่หอยเป็นอาหารหลักของปลาสร้อย การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลาคือสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ ในขณะที่ไขมันถือเป็นแหล่งพลังงานสำรอง เอนไซม์โปรติเนสที่สำคัญคือเอนไซม์ทริปซิน เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion efficiency; FCE) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) มีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในสูตรอาหาร 6 ชนิดโดยวิธี 6-trinitrobenzenesulfonate (TNBS) ที่มีแหล่งโปรตีนประกอบด้วยปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลาหมึกป่น พบว่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทั้ง 6 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Divakaran et al., 2004) แต่

เมื่อนำไปทดลองเลี้ยงจึงพบว่าสูตรอาหารที่มีกากถั่วเหลืองมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้น (Divakaran et al., 2000) ส่วนการศึกษา isozymes ของเอนไซม์ทริปซินที่สกัดจากไส้ติ่งของปลาแซลมอน *Salmo salar* L. พบว่ามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารในช่วงที่มีการเจริญเติบโต ส่วนเอนไซม์ไคโมทริปซินมีบทบาทสำคัญในช่วงอดอาหาร (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

งานวิจัยของ Gonzalez-Felix et al. (2010) ได้ศึกษาการปรับปรุงสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิล โดยพัฒนาสูตรอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจากพืชในท้องถิ่นมาทดแทนปลาป่น และศึกษาการเลี้ยงจริงและประสิทธิภาพการย่อยอาหารในระบบการเลี้ยงแบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำ โดยกำหนดให้สูตรอาหารที่ใช้มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทุกสูตร ผลการศึกษา พบว่า สูตรอาหารที่มีปลาป่น 11 และ 22 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักสุดท้ายที่สูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่าใกล้เคียงกันในสูตรอาหารที่มีปลาป่น 22 และ 11 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก ($r^2 = 0.67$) ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลดปริมาณของปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลานิล และ สามารถใช้แหล่งโปรตีนจากพืชในท้องถิ่นมาปรับปรุงสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล

Hillestad et al. (1999) ศึกษาการย่อยอาหารในอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงปลาแซลมอน โดยเปรียบเทียบการชะของตัวตรวจวัดในวัตถุดิบอาหารและความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้ โดยใช้ La_2O_3 เป็นตัวจับอาหาร และมีตัวตรวจวัดสองตัว คือ Y_2O_3 และ Cr_2O_3 ผลการทดลองพบว่า การชะที่น้อยที่สุด คือ ใช้ อัลจิเนต 2% ที่ระดับน้ำระดับน้ำ 35% ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยในการทดลองทั้งสองชุด คือ ชุดที่เป็นอาหารที่ขายในท้องตลาด และ อาหารจม พบว่า มีความแตกต่างกัน คือ ชุดของอาหารจมนี้น้อยกว่า ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า อาหารจมนี้อาจมีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาแซลมอนมากกว่า

Perera et al. (2010) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของเอนไซม์ย่อยอาหารของลิวสเตอร์ และ การศึกษาศักยภาพของการย่อยโปรตีนโดยดูรูปแบบการย่อยของเอนไซม์ทริปซิน โดยใช้เซลล์ย่อยอาหารจำลองที่ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Gauthier et al. (1982) ทำการย่อยวัตถุดิบ 5 ชนิด คือ หมึกป่น ปลาแมคเคอเรลป่น ปลาแฮริงป่น กากถั่วเหลือง และ ถั่วเหลือง ในโถทดลอง และใช้เอนไซม์ทริปซิน 3 แบบในการย่อย และใช้ L-ลิวซีน เป็นสารมาตรฐาน ผลการทดลอง พบว่า ทริปซินชนิด a ย่อยหมึกป่น และ ปลาแมคเคอเรลป่น ได้สูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การทดลองที่สองได้ทำการหาขนาดของโปรตีนที่

ย่อยจากเอนไซม์ย่อยอาหารของลีโอปสเตอร์ในวัตถุดิบอาหาร พบว่า ทั้งสามรูปแบบของเอนไซม์ย่อยอาหารไม่มีความแตกต่างกันในวัตถุดิบแต่ละตัว

เทคนิค *in vitro* digestibility มีข้อดีสำหรับผู้ผลิตอาหารหรือโรงงานผลิตอาหาร สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารตรวจสอบกรรมวิธีการผลิต ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารที่ดี สำหรับเกษตรกร สามารถตรวจสอบเพื่อคัดเลือกอาหารที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยของสัตว์

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการศึกษาเอนไซม์ย่อยอาหาร พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในบริเวอร์ยีสต์ และรองลงมาเป็น ถั่วลิสง และ ถั่วเขียว ในขณะที่ ความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุดในปลายข้าว และ รองลงมาเป็น มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสง ตามลำดับ

ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่า เอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายได้ดีที่สุดที่สุด รองลงมา คือ กากถั่วเหลือง และ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัย พบว่า ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต พบสูงสุดในกากถั่วเหลือง รองลงมาเป็น รำข้าว กากถั่วเหลืองตามลำดับ และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายได้ รองลงมาเป็น กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสงเป็นลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า สามารถแยกวัตถุดิบอาหารเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นวัตถุดิบอาหาร และ กลุ่มวัตถุดิบเสริมในท้องถื่น และ พบว่า วัตถุดิบเสริมในท้องถื่นที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้ คือ ถั่วลิสง เพราะ ผลการทดลองที่ได้มีค่าความสามารถในการย่อยโดยเอนไซม์ย่อยอาหารปลานิลวัยอ่อน และ เต็มวัย ได้ดี

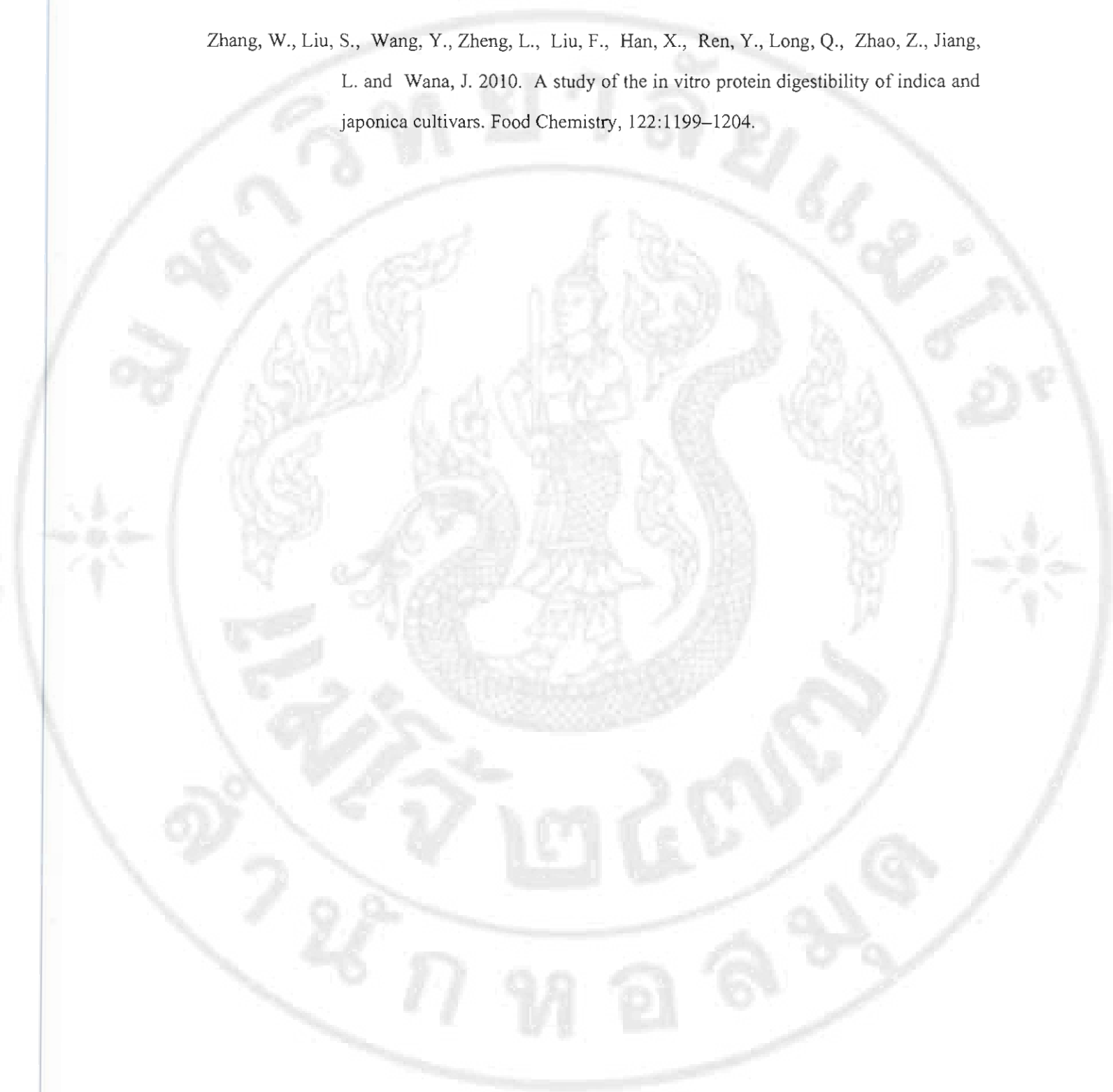
บรรณานุกรม

- กรมประมง. 2554. การเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://gms.oae.go.th/Z_Show.asp?ArticleID=198 (15 ตุลาคม 2553).
- กองวัดคุณภาพอาหารสัตว์. 2553. วัดคุณภาพอาหารสัตว์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feed_stuff/nutrition.htm (15 ตุลาคม 2553).
- จรูญโรจน์ จันทศิริ เทวา ฉวีรัมย์ สุขุม สุขเกษม วีระพงษ์ อุดรไสว และ ชัยกระมล คำเมือง 2552. การผลิตกระถินป่นส่งจำหน่ายโรงงานอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.gotoknow.org/blogs/posts/243003> (15 ตุลาคม 2553).
- จันทกานต์ นุชสุข. 2550. การพัฒนาสูตรอาหารโดยใช้เทคโนโลยีทางเอนไซม์ย่อยอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงปลาชเวต *Helicophagus leptorhynchus* Ng & Kottelat. 2000. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 146 น.
- เจษฎา อิศหา. 2549. อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://courseware.rmutl.ac.th/courses/108/unit000.html> (15 ตุลาคม 2553).
- นิวุฒิ หวังชัย. 2549. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 226 หน้า.
- พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุทธนา เอียดน้อย อรุณี อิงกุล อุทัยวรรณ โกวิทที และ สุริยัน รัชกิจจานุกิจ. 2550. คุณลักษณะและประสิทธิภาพของเอนไซม์ย่อยอาหารในกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*, กุ้งขาว *Penaeus vannamei*, และกุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 1(2):248-260.
- วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย. 2536. อาหารปลา. ชลบุรี: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 216 น.
- เสน่ห์ ผลประสิทธิ์. 2552. เทคโนโลยีกับการประมง. วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน (454):100-102.
- Aslaksen, M.A., Kraugerud, O.F., Penn, M., Svihus, B., Denstadli, V., Jørgensen, H.Y., Hillestad, M., Krogdahl, Å. and Storebakken, T. 2007. Screening of nutrient digestibilities and intestinal pathologies in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with legumes, oilseeds, or cereals. Aquaculture 272:541-555.

- Cousin, B., Bascands-Viguerie, N., Kassis, N., Nibbelink, M., Ambid, L., Casteilla, L. and Penicaud, L. 1996. Cellular changes during cold acclimatation in adipose tissues. *J. Cell Physiol.* 167:285-289.
- Divakaran, S., Forster, I.P. and Velasco, M. 2004. Limitations on the use of shrimp *Litopenaeus vannamei* midgut gland extraxt for the measurement of *in vitro* protein digestibility. **Aquaculture** 239: 323-329.
- Fernandez, I., Moyano, F.J., Diaz, M. and Martinez, T. 2001. Characterization of α -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (*Sparidae, teleostei*). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 262: 1-12.
- Gonzalez-Felix, M.L., Perez-Velazquez, M., Villaba-Villalba, A.G., Civera-Cerecedo, R., Ezquerro, J.M. and Goytortua-Bores, E. 2010. Tailoring a diet for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in Northwest Mexico. **Journal of Marine Science and Technology** 18(5): 674-681.
- Hansen, A., Rosenlund, G., Karlsen, O., Koppe, W. and Hemre, G. 2007. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)- Effects on growth and protein retention. **Aquaculture** 272: 599-611.
- Hillestad, M., Asgard, T., Berge, G.M., 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture*, 179: 81-94.
- Lovell, R.T. 1989. **Nutrition and feeding of fish**. New York:Van Nostrand Reinhold. 260 p.
- Nieto-López, M., Tapia-Salazar, M. and Ricque-Marie, D. 2011. Digestibility of different wheat products in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture* 319 (3-4): 369-376.
- Øverland, M., Sørensen, M., Storebakken, T., Penn, M., Krogdahl, Å. and Skrede, A. 2009. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)—Effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality. *Aquaculture*, 288: 305-311.
- Pavasovic, M., Richardson, N.A., Anderson, A.J., Mann, D. and Mather, P.B. 2004. Effect of pH, temperature and diet on digestive enzyme profiles in the mud crab, *Scylla serrata*. **Aquaculture** 242: 641-654.

- Perera, E., Rodríguez-Viera, L., Rodríguez-Casariago, J., Fraga, I., Carrillo, O., Martínez-Rodríguez, G. and Mancera, J. M. 2012. Dietary protein quality differentially regulates trypsin enzymes at the secretion and transcription level in *Panulirus argus* by distinct signaling pathways. *The Journal of Experimental Biology* 215: 853-862.
- Rungruangsak-Torissen, K., Rustad, A., Sunde, J., Eiane, S.A., Jensen, H.B., Opstvedt, J., Nygard, E., Samuelsen, T.A., Mundheim, H., Luzzana, U. and Venturini, G. 2002. *In vitro* digestibility based on fish crude enzyme extract for prediction of feed quality in growth trial. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 82: 644-654.
- Smith, R. R. 1980. Nutritional bioenergetics in fish: In *Fish Feed Technology, Aquaculture Development and Coordination Program*. UNDP/FAO. 21-28p.
- Smith, I. R., Withers, K. and Billingsley, J. 2007. Maintaining the Ancient Bunya Tree (*Araucaria bidwillii* Hook.) - Dispersal and Mast Years. Presentation given at the 5th Southern Connection Conference, Adelaide, South Australia, 21-25th January 2007.
- Terrazas-Fierro, M., Civera-Cerecedo, R., Ibarra-Martínez, L., Goytortúa-Bores, E., Herrera-Andrade, M. and Reyes-Becerra, A. 2010. Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 308:166-173.
- Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, U., Kovitvadhi, S., Somsueb, P., and Rungruangsak-Torissen, K. 2011. Effects of different modified diets on growth, digestive enzyme activities and muscle compositions in juvenile Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). *Aquaculture*. 322-323(1):1-9.
- Wee, K. L. 1992. An overview of fish digestibility physiology and the relevance to the formulation of artificial fish feed. p. 17-27. In Allan, G.L. and Dall, W. (editors), **Proceeding Aquaculture Nutrition workshop. 15-17 April 1991**. Australia: Salamander Bay.

Zhang, W., Liu, S., Wang, Y., Zheng, L., Liu, F., Han, X., Ren, Y., Long, Q., Zhao, Z., Jiang, L. and Wana, J. 2010. A study of the in vitro protein digestibility of indica and japonica cultivars. Food Chemistry, 122:1199–1204.





ภาคผนวก

การเข้าร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการ

การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหาร ด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล



38



A photograph showing four test tubes in a rack. The first two tubes on the left contain a bright red liquid. The third tube contains a dark red or maroon liquid. The fourth tube on the right contains a black liquid. This illustrates a color change reaction, likely the reduction of iron(III) ions to iron(II) ions using a reducing agent like iron powder.

[illegible]

กิตติกรรมประกาศ

ภาพผนวก 1 โปสเตอร์ เรื่อง “The efficiency of raw materials digestibility by using enzymes extracted from nile tilapia”

นำเสนอผลงานทางวิชาการภาควิชาการ เรื่อง “ความสามารถในการย่อยได้ของ
วัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล” ในงานประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 3 วันที่ 23 พฤศจิกายน 2555 ณ บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล

The Ability of *in vitro* Digestibility of Feed Ingredients using
Digestive Enzyme of Nile Tilapia

อศาศพงศ์ มะลิซ้อน* สุทธพร คงศิริ**

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมกันมาอย่างต่อเนื่อง การเลี้ยงปลานิลให้มีคุณภาพและมาตรฐานที่ดีปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การจัดการด้านอาหาร ในการศึกษานี้ เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมและย่อยได้ดีโดยใช้เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน และ ค้นคว้าด้วยวิธี *in vitro* digestibility เพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารในการเพาะเลี้ยงปลานิล วัตถุดิบอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ มี 15 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลืองอัดแห้ง สาหร่ายสไปรูลินา ปลานิล (CP53%) ในกระบวนการต้ม ถั่วเขียว รำข้าว Brewer's Yeast เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไลก์ ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวอัดแห้ง เมล็ดสุรสีห์ผ่านกรรมวิธีแบบไร้อากาศ และปลายข้าว ผลของการศึกษา พบว่า เอนไซม์ที่มีในปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยโปรตีนในปลายข้าว ได้ดีที่สุด ในขณะที่เอนไซม์จากกระเพาะอาหารของปลาเค็มวัย สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไลก์ เมล็ดทานตะวัน และ ปลายข้าว ส่วนเอนไซม์จากลำไส้ในปลานิลวัย สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไลก์ ได้ดีที่สุด และรองลงมาเป็นถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน การศึกษานี้เป็นพื้นฐานที่นำไปสู่การผลิตอาหารปลานิลที่เหมาะสมต่อการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตต่อไป

คำสำคัญ: ปลานิล *in vitro* digestibility วัตถุดิบอาหาร อาหารปลานิล

Abstract

Nile tilapia is the economic aquatic fish that fish to promote the economy of the country. The factor was important to high quality and the good standard was feed management. In this study was screened suitable feed ingredients and high digestibility by using *in vitro* digestibility method and used digestive enzyme from juvenile and adult Nile tilapia. The feed was produced for culture Nile tilapia. The 15 types of feed ingredients were used in digestibility such as soybean milk meal, Spirulina, fish meal, cotton meal, green bean, rice bran, brewer yeast, sunflower seed, peanut, black eyed pea, *Enteromonas* *intermedia*, red bean, soybean meal, feces from anaerobic digestion and broken rice. The resulted were found that digestive enzyme in juvenile could digest the highest protein in broken rice. The digestive enzyme from stomach of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Enteromonas* *intermedia*, sunflower and broken rice, respectively. The digestive enzyme from intestine of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Enteromonas* *intermedia*, peanut and sunflower, respectively. The result of this research was the base of feed formulation for Nile tilapia that easily to digest and growth well.

Keyword: Nile tilapia *in vitro* digestibility Feed ingredient Nile tilapia diet

* ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ e-mail address: jongsong_p@hmcmai.com

** คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ e-mail address: suatp2515@hmcmai.com

ภาพผนวก 2 ผลงานทางวิชาการภาควิชาการ เรื่อง “ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบ
อาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล”

ตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการเรื่อง“ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล” ในวารสารงานประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 3

Presenting The 3rd CMU Graduate Research Conference
การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 3 ปีที่ 25 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค

ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล

The Ability of *in vitro* Digestibility of Feed Ingredients using
Digestive Enzyme of Nile Tilapia

ฉัตรพงศ์ นนธิ์*ศุภพร ศะศิริ**

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างคึกคักเนื่อง การเลี้ยงปลานิลให้ประสบความสำเร็จและมาตรฐานที่ดีปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การจัดการด้านอาหาร ในการศึกษานี้เป็น เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมและย่อยได้สูงใช้เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลโอดอน และ คิวคัมริส ด้วยวิธี *in vitro* digestibility เพื่อนำไปผลิตเป็นอาหารในการเพาะเลี้ยงปลานิล วัตถุดิบอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ มี 15 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง สาหร่ายสด ใบกล้วย ปลานิล (CPS3%) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว Brewer's Yeast เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไคโดร่า ถั่วเขียวขงหลวง ถั่วลิสง ถั่วเขียว ถั่วลิสง เมล็ดทานตะวัน รำข้าว และปลายข้าว ผลของการศึกษา พบว่า เอนไซม์ที่มีในปลานิลโอดอนสามารถย่อยโปรตีนในปลายข้าว ได้ดีที่สุด ในขณะที่เอนไซม์จากกระเพาะอาหารของปลานิลวัย สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไคโดร่า เมล็ดทานตะวัน และ ปลายข้าว ส่วนเอนไซม์จากลำไส้ในปลานิลวัย สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไคโดร่า ได้ดีที่สุด และรองลงมาเป็นถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน การศึกษานี้เป็นพื้นฐานที่นำไปสู่การผลิตอาหารปลานิลที่เหมาะสมต่อการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตต่อไป

คำสำคัญ: ปลานิล *in vitro* digestibility วัตถุดิบอาหาร อาหารปลานิล

Abstract

Nile tilapia is the economic aquatic fish that fish to promote the economy of the country. The factor was important to high quality and the good standard was feed management. In this study was screened suitable feed ingredient and high digestibility by using *in vitro* digestibility method and used digestive enzyme from juvenile and adult Nile tilapia. The feed was produced for culture Nile tilapia. The 15 types of feed ingredient were used in digestibility such as soybean meal, meal, lupulina, fish meal, meal, green bean, rice bran, brewer yeast, sunflower seed, peanut, black eyed pea, *Azotobacter*, meal, red bean, soybean meal, feces from anaerobic digestion and broken rice. The result were found that digestive enzyme in juvenile could digest the highest protein in broken rice. The digestive enzyme from stomach of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Azotobacter*, sunflower and broken rice, respectively. The digestive enzyme from intestine of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Azotobacter*, peanut and sunflower, respectively. The result of this research was the base of feed formulation for Nile tilapia that easily to digest and growth well.

Keyword: Nile tilapia *in vitro* digestibility Feed ingredient Nile tilapia diet

* อีเมล: ฉัตรพงศ์ นนธิ์ โทร: 08-99999999 อีเมล: ฉัตรพงศ์ นนธิ์ โทร: 08-99999999 อีเมล: ฉัตรพงศ์ นนธิ์ โทร: 08-99999999 อีเมล: ฉัตรพงศ์ นนธิ์ โทร: 08-99999999

** อีเมล: ศุภพร ศะศิริ โทร: 08-99999999 อีเมล: ศุภพร ศะศิริ โทร: 08-99999999 อีเมล: ศุภพร ศะศิริ โทร: 08-99999999 อีเมล: ศุภพร ศะศิริ โทร: 08-99999999

ภาพผนวก 3 ตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการเรื่อง“ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล

ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหารเมื่อใช้เอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล

The Ability of *in vitro* Digestibility of Feed Ingredients using

Digestive Enzyme of Nile Tilapia

อัสวพงศ์ มะป้อ* สุดาพร คงศิริ**

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมกันมาอย่างต่อเนื่อง การเลี้ยงปลานิลให้มีคุณภาพและมาตรฐานที่ดี ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การจัดการด้านอาหาร ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมและย่อยได้ดีโดยใช้เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน และ ตัวเต็มวัย ด้วยวิธี *in vitro* digestibility เพื่อนำไปผลิตเป็นอาหาร ในการเพาะเลี้ยงปลานิล วัตถุดิบอาหารที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มี 15 ชนิด ได้แก่ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินาปลาป่น (CP53%) ใบกระถินป่นถั่วเขียวรำข้าว Brewer's Yeast เมล็ดดอกทานตะวันถั่วลิสงถั่วดำสาหร่ายไส้ไก่ กุ้งแดงหลวงกากถั่วเหลืองมูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และปลาขี้ขาว ผลของการศึกษา พบว่า เอนไซม์ที่มีในปลานิลวัยอ่อน สามารถย่อยโปรตีนในปลาขี้ขาว ได้ดีที่สุด ในขณะที่เอนไซม์จากกระเพาะอาหารของปลาตัวเต็มวัย สามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไส้ไก่ เมล็ดทานตะวัน และ ปลาขี้ขาว ส่วนเอนไซม์จาก ลำไส้ในปลาตัวเต็มวัย สามารถย่อยโปรตีนใน สาหร่ายไส้ไก่ ได้ดีที่สุด และรองลงมาเป็นถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน การศึกษานี้เป็นพื้นฐานที่นำไปสู่การผลิตอาหารปลานิลที่เหมาะสมต่อการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตต่อไป

คำสำคัญ: ปลานิล *in vitro* digestibility วัตถุดิบอาหาร อาหารปลานิล

Abstract

Nile tilapia is the economic aquatic fish that fish to promoted the economy of the country, The factor was important to high quality and the good standard was feed management. In this study was screened suitable feed ingredient and high digestibility by using *in vitro* digestibility method and used digestive enzyme from juvenile and adult Nile tilapia. The feed was produced for culture Nile tilapia. The 15 types of feed ingredient were used in digestibility such as soybean milk meal, *Spirulina*, fish meal, katin meal, green bean, rice bran, brewer yeast, sunflower seed, peanut, black eyed pea, *Enteromorpha intestinalis*, red beans, soybean meal, feces from anaerobic digestion and broken rice. The resulted were found that digestive enzyme in juvenile could digest the highest protein in broken rice. The digestive enzyme from stomach of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Enteromorpha intestinalis*, sunflower and broken rice, respectively. The digestive enzyme from intestine of adult Nile tilapia could digest the highest protein in *Enteromorpha intestinalis*, peanut and sunflower, respectively. The result of this research was the base of feed formulation for Nile tilapia that easily to digest and growth well.

Keyword: Nile tilapia *in vitro* digestibility Feed ingredient Nile tilapia diet

* หลักสูตรเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ e-mail address: jujoop_f@hotmail.com

** คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ e-mail address: sudap2515@gmail.com

บทนำ(Introduction)

ปลานิล *Oreochromis niloticus* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจ สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ เจริญเติบโตเร็ว เนื้อปลามีรสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ปลานิล เป็นปลาที่เลี้ยงได้หลายประเทศเกือบทั่วโลก ยกเว้นประเทศที่มีอุณหภูมิหนาวจัดเท่านั้น ความสำคัญอีกประการของปลานิลคือสามารถทดแทนการขาดแคลนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ในบางพื้นที่ได้ ปลานิล จึงกลายเป็นปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงในเกือบทุกประเทศ และเป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยและของโลกด้วย (เสนห์, 2552)

ผลผลิตของปลานิลในภูมิภาคเอเชีย พบว่าร้อยละ 50 ของผลผลิตในโลกได้มาจากกลุ่มประเทศในเอเชีย ซึ่งได้แก่ จีน อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย มาเลเซีย และบังกลาเทศ (กรมประมง, 2554)

การเลี้ยงปลานิล นอกจากปัญหาเรื่องกลิ่นโคลนที่เกิดขึ้นในเนื้อปลานิลแล้ว ยังพบว่าต้นทุนค่าอาหารเป็นเรื่องที่มีผลกระทบต่อการผลิตปลานิลเป็นอย่างมาก เพราะว่า ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มาจากอาหาร จึงทำให้มีการศึกษา การผลิตอาหารปลาโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงของเกษตรกร (กรมประมง, 2554) แนวทางหนึ่งที่สามารถทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารต่ำลง คือ การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารของปลานิลโดยใช้เอนไซม์ย่อยอาหาร หากมีการใช้วัตถุดิบที่เอนไซม์ในปลานิลย่อยได้หมด ก็จะทำให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดในการใช้วัตถุดิบอาหารนั้น

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นิยมนำมาผสมเป็นอาหารสัตว์น้ำคือ ปลาป่น กุ้งป่น กาก ถั่วเหลืองป่น ข้าวโพดกากถั่วลิสง ปลาข้าว แป้งมันสำปะหลัง และรำละเอียด เป็นต้น รวมทั้งมีการเสริมไขมันพืช วิตามิน และเกลือแร่ในอาหารเม็ดที่ผลิตด้วยเครื่องมือขนาดใหญ่ หรือ เครื่องอัดเม็ดขนาดเล็ก(นิวุฒิ, 2547)

เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลง จนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีน ซึ่งเอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เอนไซม์โปรติเอส มีการทำงานที่ดีในสภาพที่เป็นด่าง และมี ค่ากิจกรรมการทำงานที่ แตกต่างภายใต้ อุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้ ความสามารถในการย่อย ของปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน (Alarcon *et.al.* 1997) เอนไซม์ทริปซินและไลโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรตีนออกเป็นเปปไทด์ และย่อยจนได้เป็น กรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด (Lovell, 1989)

นอกจากนี้ยังมี เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญ เนื่องจาก ปลาส่วนมากมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำมากเอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ อัลฟาอะไมเลส (α Amylase) ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้ง และไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ (Wee, 1992)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษา

ความสามารถของเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล ในการย่อยโปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ในวัตถุดิบอาหารกลุ่มต่างๆ และสามารถคัดเลือกวัตถุดิบที่ย่อยได้ดีมาใช้ในการผลิตอาหารเพื่อเพาะเลี้ยงปลานิลและทำให้ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลต่ำลง

ระเบียบวิธีวิจัย(Methodology/Experimental design)

การศึกษาศักยภาพในการย่อยวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล โดยมีการทดลองจำนวนสองซ้ำ มีรายละเอียดดังนี้

การเตรียมเอนไซม์และวัตถุดิบ

เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิล เตรียม โดยปลานิลวัยอ่อนจะย่อยทั้งตัว และเก็บเฉพาะส่วนใส ปลานิลตัวเต็มวัย เก็บส่วนของ กระเพาะและ ลำไส้บดให้

ละเอียดและเก็บเฉพาะส่วนใส หลังจากนั้นนำ crude cnzyme ที่ได้ไป dialysis เก็บส่วนของเอนไซม์ไว้ที่ -80 องศาเซลเซียส

วัตถุดิบ จำนวน 15 ชนิด กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสีน้ำตาล ปลาป่น (CP53%) ใบกระถินป่นถั่วเขียวรำข้าว Brewer's Yeast เมล็ดคอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายสีฟ้า ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกร ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และปลายข้าว มาบดให้ละเอียดก่อนนำไปศึกษา ด้วยวิธี *in vitro* digestibility โดยดัดแปลงวิธีการของ Rungruangsak-Torissenet *al.* (2002)

การศึกษา *in vitro* digestibility

ขั้นตอนการศึกษา *in vitro* digestibility โดยดัดแปลงวิธีการของ Rungruangsak-Torissenet *al.* (2002)

นำวัตถุดิบอาหาร 5 มิลลิกรัม ผสม 10 mM ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH7 เติม Chloramphenicol 50 ไมโครลิตรมตรัง 30 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงปั่นเหวี่ยงเพื่อเก็บเฉพาะส่วนใส เก็บไว้ใช้ในการทดลอง

เติมเอนไซม์ลงในส่วนใส แล้วเขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หยุดปฏิกิริยาด้วยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วปั่นเหวี่ยงเก็บส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ ความสามารถในการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต โดยใช้ DL-alanine และ Maltose เป็นสารมาตรฐาน

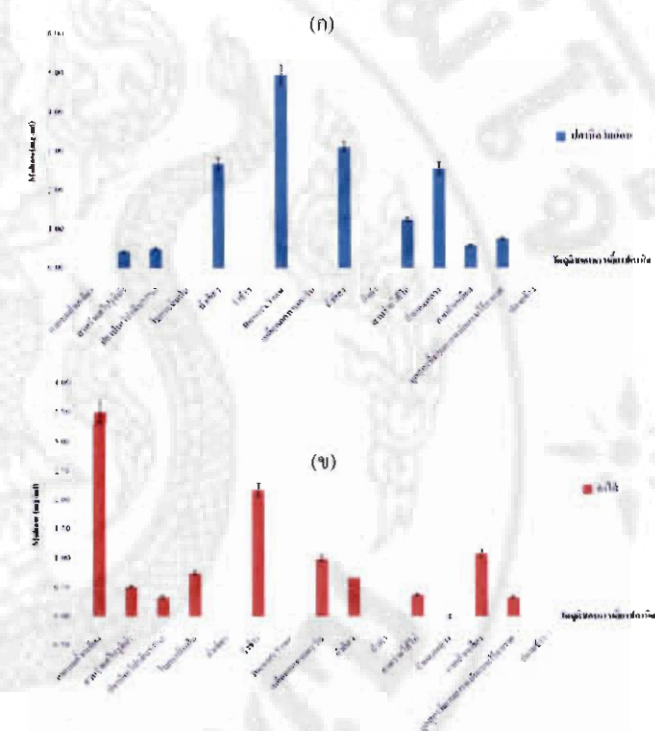
กราฟมาตรฐาน ของโปรตีน ใช้ความเข้มข้น 0 – 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร กราฟมาตรฐานของคาร์โบไฮเดรตใช้ maltose ความเข้มข้น 0-3 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร

ผลการศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีนที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล(Results and Discussion)

จากการศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิล พบว่า การ

ย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน มีความสามารถย่อย บริเวอร์ยีสต์ ได้ดีที่สุด คือ 4.950 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ส่วนเอนไซม์จากปลานิลตัวเต็มวัยจากกระเพาะอาหาร สามารถย่อยถั่วแดงหลวงได้ดีที่สุด คือ 4.106 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ส่วนเอนไซม์จากลำไส้ย่อยกากนมถั่วเหลืองได้ดีที่สุด คือ 1.089 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร (ภาพที่ 1)

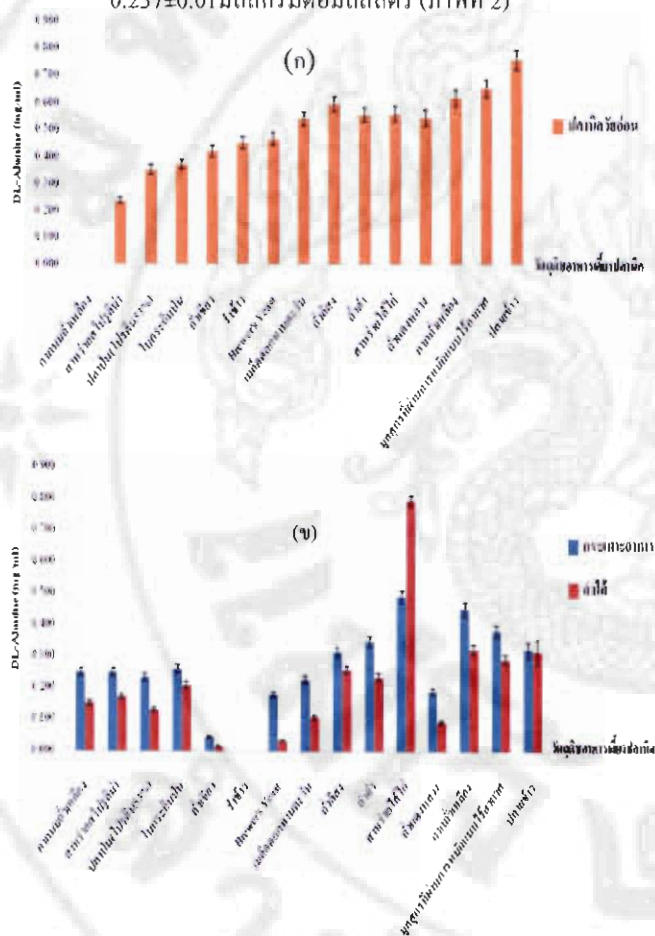


ภาพที่ 1 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหาร โดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน (ก) และตัวเต็มวัย (ข)

ส่วนการย่อยโปรตีน พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อย ปลายข้าว ได้ดีที่สุดซึ่งค่าที่วัดได้ คือ 0.757 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร และย่อย มูลสุกร ที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสง ได้เป็นลำดับถัดมา มีค่า เท่ากับ 0.652 ± 0.03 , 0.619 ± 0.03 และ 0.597 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร (ภาพที่ 2 ก)

เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย พบว่า เอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายสีฟ้าได้ดีที่สุด

คือ 0.488 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสามารถย่อยกากถั่วเหลือง และ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ ได้ดีเป็นลำดับถัดมา มีค่าเท่ากับ 0.451 ± 0.02 และ 0.38 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่เอนไซม์จากลำไส้ ย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด คือ 0.794 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสามารถย่อยกากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสงเป็นลำดับถัดมา มีค่าเท่ากับ 0.321 ± 0.02 และ 0.257 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความสามารถในการย่อย โปรตีน ของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน (ก) และตัวเต็มวัย (ข)

จากผลการศึกษา ความสามารถในการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารของเอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน และตัวเต็มวัย พบว่า ปลาขี้ขาว และสาหร่ายไส้ไก่ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ถั่วลิสง มีความสามารถในการย่อยที่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ

ยุทธนา และ คณะ(2550) ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮพาโตแพนแครียส กระเพาะและ ลำไส้ ของกุ้งขาว กุ้งก้ามกราม และ กุ้งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กุ้งย่อยได้ดี คือ ปลาขี้ขาว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์ และมีการศึกษาถึงการเลือกใช้ วัตถุดิบอาหาร โดยการดูค่าสัมประสิทธิ์การย่อย โดย Terrazas-Fierro *et al.* (2010) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และกรดอะมิโน ของ วัตถุดิบ อาหารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการเลี้ยงกุ้ง ศึกษาในวัตถุดิบ 9 ชนิด คือ ปลาป่น 4 แห่่ง น้ำปลาเข้มข้น หมักป่น หัวกุ้งป่น ปูป่น และ หอยเชลล์ป่น ใช้ 1% โคโรมิคออกไซด์ เป็นตัวติดตามตรวจสอบ โดยใช้วัตถุดิบอาหารดังกล่าว 30% และใช้องค์ประกอบอื่น ๆ 70% พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุดิบแห้ง และการย่อยโปรตีน มีค่าแตกต่างกันมาก แต่สามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบอาหารที่ควรนำมาใช้ในสูตรอาหารเลี้ยงกุ้ง คือ น้ำปลาเข้มข้น หมักป่น หัวกุ้งป่น หอยเชลล์ป่น และ ปลาป่นชนิด A เช่นเดียวกับ Pavasovic *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงศักยภาพของวัตถุดิบอาหาร คือ ปลาป่น กระดุกป่น ไก่บด ถั่วเหลืองป่น คาโนลา ถั่วดูปปีและ บริเวอร์ยีสต์ เพื่อเป็นอาหารสำหรับกุ้งก้ามแดง โดยใช้วัตถุดิบแต่ละตัวในสูตรอาหาร 30% และศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อย และ ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ควบคู่กัน พบว่า อาหารที่มีถั่วเหลืองป่น มีค่าการย่อยสูงที่สุด ในขณะที่กระดุกป่นมีค่าการย่อยต่ำที่สุด

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่า มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาไว้ในกุ้งหลายชนิด ซึ่งพบว่า วัตถุดิบในกลุ่ม ปลาขี้ขาว สไปรูลิना บริเวอร์ยีสต์ กากถั่วเหลือง และ สาหร่ายไส้ไก่ เป็นวัตถุดิบ ที่ให้ค่าการย่อยโปรตีนสูง และสามารถเลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารปลานิลได้

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากผลการศึกษา ความสามารถในการย่อยโปรตีนในวัตถุดิบอาหารของเอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน และตัวเต็มวัย พบว่า ปลาขี้ขาวและสาหร่ายไส้ไก่ มูล

สูตรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ถั่วลิสง มี
ความสามารถในการย่อยที่ดี ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้จะ
ให้เกิดการเลือกวัตถุดิบที่ปลาย่อยได้สูงไปใช้ในการผลิต
อาหารปลานิลต่อไป

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการ
วิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และ
ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากร
ทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ
และสถานที่ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง (References)

กรมประมง.2554. ยุทธศาสตร์การพัฒนาปลานิล (พ.ศ.
2553-2557).เข้าถึงที่ [www.fisheries.go.th](http://www.fisheries.go.th/freshwater/web3/images/download/yutasat)
/freshwater/web3/images/download/yutasat.
สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2555

นิวุฒิ หวังชัย . 2547. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ. คณะ
เทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ.
มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 226 หน้า

ยุทธนา เอี่ยมน้อย อรุณี อิงคกุล อุทัยวรรณ โกวิทวิท
และ สุริยัน ชาญกิจจานุกิจ . 2550. คุณลักษณะ
และประสิทธิภาพของเอนไซม์ย่อยอาหารใน
กุ้งกุลาค่า *Penaeus monodon* กุ้งขาว
Penaeus vannamei และกุ้งก้ามกราม
Macrobrachium rosenbergii. วารสารวิจัย
เทคโนโลยีการประมง 1(2):248-260.

เสน่ห์ ผลประสิทธิ์. 2552. เทคโนโลยีกับการประมง .
เทคโนโลยีชาวบ้าน.วันที่ 01 พฤษภาคม 2552.
21 ฉบับที่ 454.หน้า 92-93

Alareon, F.J., Diaz, M. and Moyano, F.J. 1997. Studies
on digestive enzymes in fish: Characterization
and practical applications. Workshop of the
CIHEAM Network on Technology of
Aquaculture in the Mediterranean (TECAM),

Mazarron (Spain), 24-26 Jun 1996. p. 113-
121.

Lovell, R.T. 1989. Nutrition and feeding of fish. Van
Nostrand Reinhold. New York.260 p.

Pavasovic, A., Anderson, A.J., Mather, P.B. and
Richardson, N.A. 2007. Effect of a variety of
animal, plant and single cell-based feed
ingredients on diet digestibility and digestive
enzyme activity in redear crayfish,
Cherax quadricarinatus (Von Martens 1868).
Aquaculture 272: 564-572.

Rungruangsak-Torrissen, K., Rustad, A., Sunde, J.,
Eiane, S.A., Jensen, H.B., Opstvedt, J.,
Nygard, E., Samuelsen, T.A., Mundheim, H.,
Luzzana, U., and Venturini, G. 2002. *In vitro*
digestibility based on fish crude enzyme
extract for prediction of feed quality in growth
trials. Journal of the Science of Food and
Agriculture 82: 644-654.

Wee, K.L. 1992. An overview of fish digestibility
physiology and the relevance to the
formulation of artificial fish feed. p. 17-27. In
Allan, G.L. and Dall, W. (editors).Proc.
Aquaculture nutrition workshop. 15-17 April
1991. Salamander Bay. Australia.

Terrazas-Fierro, M., Civera-Cerecedo, R., Ibarra
Martinez, L., Goytortua-Bores, E., Herrera-
Andrade, M. and Reyes-Becerra, A. 2010.
Apparent digestibility of dry matter protein
and essential amino acid in marine feedstuffs
for juvenile whiteleg shrimp *Litopenaeus*
vannamei. Aquaculture 308: 166-173.