



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

โดย

สุดาพร ตงศิริ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-56-023.5



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 247,340 บาท

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

ศุดาพร ตงศิริ

ดวงพร อมรเลิศพิศาล



สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
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	7
ภาพ 2	8
ภาพ 3	9
ภาพ 4	9
ภาพ 5	10
ภาพ 6	12
ภาพ 7	19
ภาพ 8	21
ภาพ 9	21
ภาพ 10	22
ภาพ 11	23
ภาพ 12	25
ภาพ 13	25
ภาพ 14	26
ภาพ 15	29
ภาพ 16	30
ภาพ 17	31
ภาพ 18	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 Tongsiri 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 สาหร่ายสไปรูลีนา 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

แบบเสนอโครงการวิจัย (research project)

ประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ตามมติคณะรัฐมนตรี

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตร

อาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย

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

ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย) ระบบการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่ออาหารปลอดภัยและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรสัตว์น้ำ

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

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย



โครงการวิจัยใหม่



โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา.....ปี ปีนี้เป็นปีที่..... รหัสโครงการวิจัย.....

I ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559)

ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาเศรษฐกิจ

กลยุทธ์การวิจัยที่ 1 สร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันและการพึ่งพาตนเองของสินค้าเกษตร

II ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559)

ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาเศรษฐกิจ

กลยุทธ์การวิจัยที่ 1 สร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันและการพึ่งพาตนเองของสินค้าเกษตร

แผนงานวิจัย 1.3 การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับประมงและการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง
เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและนำไปสู่การแข่งขันและการพึ่งพาตนเอง

III ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับกลุ่มเรื่องเร่งด่วน

ประเด็นวิจัยเร่งด่วนภาคเหนือ

6. การเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อส่งออกและลดการนำเข้า

IV ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล

นโยบายเร่งด่วนของรัฐบาล

11. ยกระดับราคาสินค้าเกษตรและให้เกษตรกรเข้าถึงแหล่งทุน

นโยบายบริหารราชการ

5. นโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การวิจัย และ นวัตกรรม

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. ผู้รับผิดชอบ [คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำ
การวิจัย (%)] และหน่วยงาน ประกอบด้วย หน่วยงานหลักและหน่วยงานสนับสนุน

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร. สูดพร ตงศิริ

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โทรศัพท์ 053-873470 ต่อ 210 โทรสาร 053- 498178 ต่อ 130

E-mail: sudaporn@mju.ac.th, sudap2515@gmail.com

ความรับผิดชอบในโครงการ ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนา

สูตรอาหารเลี้ยงปลานิล สัดส่วนงานวิจัย 80 %

ผู้ร่วมโครงการ

อาจารย์ ดร. ดวงพร อมรเลิศพิศาล สัดส่วนงานวิจัย 20 %

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โทรศัพท์ 053-873470 ต่อ 213 โทรสาร 053- 498178 ต่อ 130

E-mail: doun_g_fishtech@hotmail.com

ความรับผิดชอบในโครงการ ศึกษาการย่อยโดยเอนไซม์ สัดส่วนงานวิจัย 20 %

หน่วยงานหลัก

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. ประเภทการวิจัย

การวิจัยประยุกต์ (applied research)

3. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย

สาขาเกษตรศาสตร์ และ ชีววิทยา

4. คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

การย่อยในหลอดทดลอง ประสิทธิภาพการย่อย วัตถุดิบพื้นบ้าน อาหารปลานิล

5. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปลานิล *Oreochromis nilotica* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ การเพาะเลี้ยงในระยะเวลา 8 เดือน – 1 ปี สามารถเจริญเติบโตได้ถึงขนาด 500 กรัม เนื้อปลามีรสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ขนาดปลานิลที่ตลาดต้องการจะมีน้ำหนักตัวละ 200 – 300 กรัม จากคุณสมบัติของปลานิลซึ่งเลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว สามารถกินอาหารธรรมชาติได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ มีความสามารถสูงในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี คือ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อย สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในอุณหภูมิน้ำ 10-40 องศาเซลเซียส และสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่ถูกกักขังในที่แคบ เช่น บ่อ เลี้ยงหรือกระชังได้ และสามารถเจริญเติบโตได้ดีเหมือนในธรรมชาติ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ปลานิล จึงถูกนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อและกระชังในหลายประเทศเกือบทั่วโลก ยกเว้นประเทศที่มีอุณหภูมิหนาวจัดเท่านั้น เพราะปลานิลสามารถเข้ามาทดแทนความขาดแคลนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ในบางประเทศที่ แห้งแล้ง ทุรกันดารได้เป็นอย่างดี จนได้ชื่อว่า “Aquatic Chicken” ปลานิล จึงกลายเป็นปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงในเกือบทุกประเทศ และเป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทย และของโลกด้วย (เสนห์, 2552)

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยระดับโปรตีนที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน ลูกปลาวัยอ่อนและลูกปลานี้ว จะต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 32-40 % แต่ในปลาใหญ่ต้องการระดับโปรตีนประมาณ 27-34 % เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด ทำให้สามารถกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไร น้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ในบ่อ ตลอดจนสาหร่ายและแพลงก์ตอนได้ด้วยการให้อาหารจะให้อาหาร 5% ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง เพราะหากให้อาหารมากเกินไป ปลาจะกินไม่หมด เสียค่าอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังทำให้น้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายแก่ปลาได้ (กรมประมง, 2551)

การศึกษาการย่อยอาหารโดยวิธี *in vitro* digestibility เป็นวิธีการดัดแปลงจาก Rungruangsak-Torissen *et al.*, 2002 มีการศึกษา โดยยุทธนา และ คณะ, 2550 ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮพาโตแพนเรียส กระเพาะและ ลำไส้ ของกึ่งขาว กึ่งก้ามกราม และ กึ่งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กึ่งย่อยได้ดี คือ ปลาไหล ข้าว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์

จากวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นฐาน ประกอบไปด้วย ปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลาขี้ขาว และ รำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโปรตีนจากการปรับเปลี่ยนปริมาณของส่วนผสมทั้ง 4 ชนิด ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 4 ชนิดนี้ มีวัตถุดิบบางตัวต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีผลทำให้ต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์เพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี หากมีการนำวัตถุดิบอาหารที่หาได้ในท้องถิ่นมาใช้ทดแทนก็จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต และ เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรชนิดนั้นได้อีกด้วย

6. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาความสามารถของเอนไซม์จากระบบย่อยอาหารของปลานิล ในการย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน โดยใช้ โดยวิธี *in vitro* digestibility และ การเจริญเติบโตของปลานิลจากการเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ได้

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาความสามารถของเอนไซม์จากระบบย่อยอาหารของปลานิล ในการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน โดยใช้ โดยวิธี *in vitro* digestibility และ ศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลจากการเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่ศึกษาได้

8. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน โดยวิธี *in vitro* digestibility โดยใช้เอนไซม์จากระบบย่อยของปลานิล และปรับสูตรอาหารเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลร่วมด้วย เพื่อเป็นอาหารลดต้นทุน และ เป็นอาหารปลอดภัย

การย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน
โดยวิธี *in vitro* digestibility โดยใช้เอนไซม์จากระบบย่อยของ
ปลานิล



ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. ศึกษาการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน ด้วยวิธี *in vitro* digestibility
2. ศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลด้วยสูตรอาหารลดต้นทุน



เป้าประสงค์ พัฒนาสูตรอาหารเลี้ยง
ปลานิลแบบลดต้นทุน
เพื่อ
พัฒนาองค์ความรู้สู่ภาคอุตสาหกรรม

ตัวชี้วัด

1. นำเสนอระดับชาติ จำนวน 1 เรื่อง
2. ตีพิมพ์ผลงานวิจัยระดับชาติ 1 เรื่อง

ผลิตนักศึกษาระดับปริญญา
โท จำนวน 1 คน



ได้วัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้านที่ลดต้นทุน และสูตรอาหาร
เลี้ยงปลานิลเพื่อเป็นอาหารปลอดภัย

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่สามารถขยายพันธุ์ได้ง่าย เจริญเติบโตเร็ว ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดี มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเป็นปลาที่มีราคาดี ไม่ประสบกับปัญหาเรื่องโรคระบาด ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันปลานิลสามารถจัดเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ต่างประเทศในลักษณะของปลาแช่เนื้อ โดยตลาดที่สำคัญๆ อาทิ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี เป็นต้น (กรมประมง, 2551)

การเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน

การเตรียมบ่อดิน ควรเป็นบ่อที่สามารถเก็บกักน้ำได้ระดับสูง 1 เมตร บ่อเลี้ยงปลาควรมีเชิงลาดตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันดินพังทลาย ต้องกำจัดศัตรูของปลา แล้วใส่ปุ๋ยคอกแห้ง 300 กก. ต่อไร่ ตากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน แล้วจึงเปิดหรือสูบน้ำเข้าบ่อ ผ่านตะแกรงตาถี่ อัตราการปล่อยปลาเลี้ยงในบ่อดิน ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหาร และการจัดการเป็นสำคัญ โดยทั่วไป จะปล่อยลูกปลานิลขนาด 3-5 ซม. ลงเลี้ยงในอัตรา 1-3 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 2,000 - 5,000 ตัวต่อไร่ (กรมประมง, 2551)

อาหารและการเจริญเติบโต

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยระดับโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน ลูกปลาวัยอ่อนและลูกปลานี้ว จะต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 32-40 % แต่ในปลาใหญ่ต้องการระดับโปรตีนประมาณ 27-34 % เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด ทำให้สามารถกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์เล็กๆ ที่อยู่ในบ่อ ตลอดจนสาหร่ายและแพลงก์ตอนได้ด้วยการให้อาหารจะให้อาหาร 5% ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง เพราะหากให้อาหารมากเกินไป ปลาจะกินไม่หมด เสียค่าอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังทำให้น้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายแก่ปลาได้ (กรมประมง, 2551) อาหารเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงมาก และ ในการศึกษาด้านอาหารส่วนใหญ่จะศึกษาในด้านการเจริญเติบโตเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ และการนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำ ดังนั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการที่แท้จริงของปลานิลในการเจริญเติบโต ก็จะเป็นการให้อาหารได้ประโยชน์สูงสุด และ ไม่มีการปล่อยทิ้งของสารอาหารออกสู่สภาพแวดล้อม

ความสามารถในการย่อยอาหาร

ความสามารถในการย่อยสารอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานของปลายังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและประเภทของอาหาร (Kim et al., 1998) แต่การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อปลาที่ผ่านมานิเวศส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลตอบสนองทางสรีรวิทยาและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีปฏิบัติในการเลี้ยงปลาภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามฤดูกาลน้อย

มาก เช่น การทดลองของ Rezk *et al.*, 2002 ทดลองให้อาหารปลานิลอย่างต่อเนื่องในฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ย 13.5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 100 วัน พบว่าสามารถทำให้ปลานิลมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 75.3% นอกจากนี้ James and Abu-Reseq (1988) ยังระบุว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสร้างและใช้กรดไขมันในพลาสมาของปลาและการใช้กากถั่วเหลืองในการทดแทนปลาป่น พบว่า มิงงานวิจัยของ Hung (1998) ทดลองใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนปลาป่นเลี้ยงปลานิลแดง พบว่า หากมีการเสริม dicalcium phosphate 3% จะให้ผลการเติบโตไม่แตกต่างจากสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีน เนื่องจากข้อด้อยของการใช้กากถั่วเหลือง คือมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ หากไม่มีการเสริมแคลเซียมและฟอสฟอรัส ลงไปในสูตรอาหารจะส่งผลเสียต่อการเติบโตของปลานิลแดง นอกจากนี้ มีงานวิจัยของ Rong Yue and Cun Zhou (2008) ทดลองในการเลี้ยงปลานิลลูกผสม พบว่า ต้องมีกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารถึง 60% การเจริญเติบโตของปลาจึงจะไม่แตกต่างกัน ส่วนงานวิจัยของ Wang *et al.*, (2006) ได้ทำการทดลองใน cuneate drum โดยเลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนปลาป่น พบว่า กากถั่วเหลืองสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้บางส่วน ในขณะที่มีการศึกษาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่พบในปลาป่น เปรียบเทียบกับ ในกากถั่วเหลือง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหาร โดย Hu *et al.*, (2008) พบว่า ปริมาณของเมไธโอนีนในกากถั่วเหลืองมีน้อยกว่าในปลาป่น แต่การทดลองได้เติม เมไธโอนีนเพิ่มในอาหารเลี้ยงปลา ลูกผสม พบว่าการเจริญเติบโตของปลาที่เติมเมไธโอนีนลงไป 0.18 % มีการเจริญเติบโตสูงสุด

Cousin *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาศัมประสิทธิ์การย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ของ กุ้งขาวขนาด 18-25 กรัม ที่ให้อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน 8 แหล่ง คือ แป้งข้าวโพด ท้องถิน แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วในท้องถิน แป้งเคลือบแว็กซ์ แป้งข้าวโพดจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง แป้งมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่งจากแหล่งอื่น แป้งมันฝรั่งที่ย่อยแล้ว และแป้งสาลีท้องถิน ใช้ตัวตรวจวัดเป็นโครมิกออกไซด์ การทดลองจะตรวจสอบการละลายน้ำ และวัดการย่อยในหลอดทดลองร่วมด้วย โดยใช้เอนไซม์จากกุ้ง ผลการทดลอง พบว่า การละลายน้ำของแป้งที่เป็นพืชในท้องถินอยู่ระหว่าง 0.06-0.69% ส่วนแป้งที่ย่อยแล้วอยู่ในช่วง 55-85% และค่าการย่อยอยู่ระหว่าง $17-89 \times 10^{-4}$ ไมโครกรัมต่อนาที่ต่อกรัม การศึกษาในหลอดทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแป้งแต่ละแหล่ง ซึ่งพบว่าค่าของการย่อยเป็นค่าที่เหมาะสมกว่าค่าการละลายน้ำในการศึกษาเรื่องการย่อยในหลอดทดลอง

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

Mwangamilo and Jiddawi (2003) การศึกษาเพื่อหาอาหารและระดับการให้อาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานวลจันทร์ทะเล (*Chanos chanos*) ในรัฐซานฮวน โดยทำการศึกษเกี่ยวกับการย่อย ในการทดลองหาความต้องการโปรตีนของปลานวลจันทร์ทะเลโดยให้อาหารที่ระดับโปรตีน 25, 32 และ 40% เพื่อหาระดับโปรตีนที่เหมาะสม แล้วนำมาทดลองเพื่อศึกษาอัตราการให้อาหารพบว่าปลานวลจันทร์ทะเลในแต่ละหน่วยทดลองสามารถเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < 0.896$) ปลานวลจันทร์ทะเลที่เลี้ยงด้วยอาหารระดับโปรตีน 32% มีไขมันมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีน 25 และ 40% โดยระดับการย่อยอาหารจะเพิ่มขึ้นตามระดับของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นคือ 83.3, 92 และ 93% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < 0.291$) ผลการทดลองสรุปได้ว่าปลานวลจันทร์ทะเลจะเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับโปรตีน 32% และอัตราการให้อาหารที่ 4% ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน

การศึกษาการย่อยอาหารโดยวิธี *in vitro* digestibility เป็นวิธีการดัดแปลงจาก Rungruangsak-Torissen *et al.*, 2002 มีการศึกษา โดยยุทธนา และ คณะ, 2550 ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮพาโตแพนไครียส กระเพาะและ ลำไส้ ของกุ้งขาว กุ้งก้ามกราม และ กุ้งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กุ้งย่อยได้ดี คือ ปลาเยลลี่ ข้าว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์

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

Hansen *et al.*, (2007) ได้วิจัยเกี่ยวกับการทดแทนปลาป่นโดยใช้โปรตีนรวมจากพืช และเสริมกรดอะมิโนบางตัวเพิ่มลงไป โดยทำการเลี้ยงในปลาค็อด พบว่า โปรตีนรวมจากพืชสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้สูงถึง 75% โดยที่ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ปลาป่น

Pavasovic *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงศักยภาพของวัตถุดิบอาหาร คือ ปลาป่น กระดูกป่น ไก่บด ถั่วเหลืองป่น คาโนลา ถั่ว lupin และ บริเวอร์ยีสต์ เพื่อเป็นอาหารสำหรับกุ้งก้ามแดง โดยใช้วัตถุดิบแต่ละตัวในสูตรอาหาร 30% และศึกษาการย่อยรวมถึงสัมประสิทธิ์การย่อย และ ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ควบคู่กันไปด้วย การศึกษา พบว่า อาหารที่มีถั่วเหลืองป่น มีค่าการย่อยสูงที่สุดในขณะที่กระดูกป่นในค่าการย่อยต่ำที่สุด ผลโดยรวมทั้งหมด พบว่า ค่าโปรตีนรวมในพืชมีสูงกว่าในสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาเรื่องกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส และ ไลเปส พบว่า เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต และ ไลเปส มีค่ากิจกรรมการทำงานในพืชสูงกว่าในสัตว์

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

Terrazas-Fierro *et al.* (2010) ศึกษาความสัมพันธ์การย่อยโปรตีน และ กรดอะมิโน ของวัตถุดิบอาหาร ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการเลี้ยงกุ้ง ทำการศึกษาในวัตถุดิบที่มาจากทะเล 9 ชนิด คือ ปลาป่น จาก 4 แหล่ง น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น ปูป่น และ หอยเชลป่น โดยวัดค่า โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น ในการเลี้ยงกุ้งขาว และใช้ 1% ไครมิดออกไซด์เป็นตัวติดตามตรวจสอบ โดยใช้วัตถุดิบอาหารดังกล่าว 30% และใช้องค์ประกอบอื่น ๆ 70% ผลการศึกษา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของ วัตถุดิบแห้ง และการย่อยโปรตีน มีค่าแตกต่างกันมาก โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น และ หัวกุ้งป่น มีค่าดีที่สุด (มากกว่า 90%) ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยกรดอะมิโนก็มีความแปรปรวนเช่นกัน แต่สามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบอาหารที่ควรนำมาใช้ในสูตรอาหารเลี้ยงกุ้ง คือ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น หอยเชลป่น และ ปลาป่นชนิด A

Zhang *et al.* (2010) ได้ศึกษาการย่อยโปรตีนของปลายข้าวสองชนิด คือ ข้าวอินเดียน และข้าวญี่ปุ่น ในหลอดทดลอง (in vitro) โดยใช้วิธี pH-drop ที่ใช้เอนไซม์ 3-4 ตัวในระบบการศึกษา พบว่า โปรตีนในข้าวทั้งสองชนิดเหมือนกัน ซึ่งเหมือนกับการศึกษาในหลอดทดลองที่ใช้เอนไซม์ในคน การปรุงอาหารทำให้มีการปรับปรุงการย่อยโปรตีนในระบบการศึกษาที่ใช้เอนไซม์ 4 ชนิด ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีนที่ตรวจสอบพบ และ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง เอนไซม์อะไมเลส การวิเคราะห์ โดยใช้ SDS-PAGE พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการย่อย โปรตีน ระหว่าง เอนไซม์หลายชนิดกับเอนไซม์เปปซิน จากการทดลองนี้ พบว่า การย่อยโปรตีนในข้าว ญี่ปุ่นมีสูงกว่าข้าวอินเดียน ซึ่งการทดลองนี้เป็นการทดลองที่สนับสนุนว่า ยีนที่สร้างสารเคลือบไม่ได้เป็นยีนที่ใช้ในการย่อยโปรตีนในปลายข้าว

Nieto-Lopez *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และ กรดอะมิโน ในข้าวสาลี 6 ชนิด คือ HWG, RWG, DWG, HCF, MCF และ S ที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาววัยอ่อน มี อัตราส่วนในอาหาร 30% และ ส่วนผสมพื้นฐาน 70% และเพิ่มไครมิดออกไซด์ และ โซเดียมอัลจินต อย่างละ 1% ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดอะมิโนในวัตถุดิบอาหาร ในอาหาร และ ในมูล ผลการศึกษา พบว่า ในวัตถุดิบอาหาร และ สัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันในข้าวสาลีต่างชนิดกัน ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานของการย่อยมีค่าสูงใน HCF และ MCF มากกว่าในข้าวสาลีชนิดอื่นๆ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด และ กรดอะมิโนที่จำเป็นมีค่าในช่วง 81-89% และ 53-81% ตามลำดับ สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของกรดอะมิโนมีค่าน้อยจากไปมากคือ ในข้าว สาลีบด แป้งข้าวสาลี และ S ตามลำดับ

เอนไซม์ย่อยอาหาร

เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลง จนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย ซึ่งชนิดของเอนไซม์ ได้แก่

เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทโปรตีน

เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ทั้งในกระเพาะอาหารและในลำไส้เล็ก เช่น เปปซิน (Pepsin) โดยกระเพาะจะหลั่งกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปปซินโนเจน (Pepsinogen) โดยเอนไซม์เปปซินจะทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 1.5-3.0 และย่อยโปรตีนโดยจะแยกพันธะเปปไทด์ (Peptide Bond) ระหว่างกรดอะมิโนชนิดอะโรมาติก (Aromatic Amino Acid) เช่น ฟีนีลอะลานีน (Phenylalanine) และไทโรซีน (Tyrosine) จนได้โปรเทออส (Proteose) ซึ่งเป็นสายของกรดอะมิโนที่มีความยาวต่างกันก็จะถูกส่งไปย่อยต่อยังลำไส้ (Lovell, 1989)

เอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยได้จากการคัดหลั่งของผนังลำไส้เล็ก และตับอ่อน เช่น เอนไซม์ทริปซินโนเจน (Trypsinogen) และไคโมทริปซินโนเจน (Chymotrypsinogen) ซึ่งจะย่อยโปรตีนได้ต้องถูกกระตุ้นจากเอนไซม์เอนเทอโรโรไคเนส (Enterokinases) จากลำไส้เล็ก โดยเปลี่ยนจากทริปซินโนเจน (Trypsinogen) ไปเป็นทริปซิน (Trypsin) ส่วนไคโมทริปซินโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไคโมทริปซิน (Chymotrypsin) ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ (Lovell, 1989)

โดยทั่วไปลำไส้ของปลาจะมี pH อยู่ที่ช่วง 7-9 และขณะย่อยอาหาร จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่มีกรดไฮโดรคลอริกออกมา การย่อยจึงเกิดขึ้นในลำไส้เล็ก เท่านั้น (วีรพงษ์, 2536) เอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรตีน (Proteose) ที่ถูกส่งมาจากกระเพาะอาหารจนได้เป็น เปปตอน (Peptone) ซึ่งเป็นเปปไทด์ที่สายสั้นลงมา และโพลีเปปไทด์ (Polypeptide) ตามลำดับ จากนั้นกลุ่มอะมิโนเปปติเดส (Aminopeptidase) และคาร์บอกซีเปปติเดส (Carboxypeptidase) ย่อยไดเปปไทด์ (Dipeptide) จนได้กรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด

เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

ปลาส่วนมากนั้นมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำมาก แต่จะแตกต่างกันตามชนิดของปลา เอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ อัลฟา อะไมเลส (Alpha Amylase) ซึ่งจะย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลูโคส (Glucose) และมอลโตส (Maltose) โดยจะย่อยแบ่งที่พันธะแอลฟา 1,4 กลูโคไซด์ (Alpha 1,4 Glucose Bond) เมื่ออาหารผสมกับมิวคัส (Mucus) และแกสตริก จูส (Gastric Juice) จนอาหารกลายเป็นของเหลว แล้วจะถูกส่งไปยังลำไส้ส่วนต้น (Lovell, 1989) หลังจากนั้นจะกระตุ้นผนังลำไส้ให้หลั่งน้ำย่อยหลายชนิด ได้แก่ อะไมเลส (Amylase) กลูโคซิเดส (Glucosidase) และกาแลคโตซิเดส (Galactosidase) ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้ง และไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์, มอลโตไตรออส และมอลโตส ดังตารางที่ 1 (Wee, 1992) นอกจากนี้ยังพบน้ำย่อยมอลเตส (Maltase), ซูเครส (Sucrase), แลคเตส (Lactase) และเซลลูเลส

(Cellulase) อาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้ง และไกลโคเจน จะถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส (Glucose), ฟรักโทส (Fructose) และกาแลคโตส (Galactose)

ตารางที่ 1 อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ของปลา

เอนไซม์ย่อยอาหารของปลาที่ผลิตจากอวัยวะต่างๆ		
กระเพาะอาหาร	ลำไส้	ตับอ่อน
เอนไซม์เปปซินोजีน (Pepsinogen)	เอนเทอโรโรโคเนส (Enterochines)	ทริปซินโนเจน (Trypsinogen)
	อะมิโนเปปติเดส (Aminopeptidase)	ไคโมทริปซินโนเจน (Chymotrypsinogen)
กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	ไดเปปติเดส (Dipeptidase)	ไลเปส (Lipase)
เอสเทอเรส (Esterases)	ไตรเปปติเดส (Tripeptidase)	อะไมเลส (Amilase)
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates)	ไลเปส (Lipes)	ไคตินเนส (Chitinase)
ไคตินเนส (Chitinase)	เลซิทีนเนส (Lecithinases)	
	อะไมเลส (Amilase)	
	กลูโคซิเดส (Glucosidase)	
	กาแลคโตซิเดส (Galactosidase)	
	ไคโตไบเอส (Chitobiase)	

ที่มา: Wee (1992)

10. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

- กรมประมง. 2551. การเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน. เข้าถึงที่ http://gms.oae.go.th/Z_Show.asp?ArticleID=198 สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2553
- ยุทธนา เอียดน้อย อรุณี อิงคกุล อุทัยวรรณ โกวิทาทิ และ สุรียัน ัญญกิจจานุกิจ. 2550. คุณลักษณะและประสิทธิภาพของเอนไซม์ย่อยอาหารในกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*, กุ้งขาว *Penaeus vannamei*, และกุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 1(2):248-260.
- เสนห์ ผลประสิทธิ์. 2552. เทคโนโลยีกับการประมง. เทคโนโลยีชาวบ้าน, วันที่ 01 พฤษภาคม 2552. 21 ฉบับที่ 454.
- Aslaksen, M.A., Kraugerud, O.F., Penn, M., Svihus, B., Denstadli, V., Jorgensen, H.Y., Hillestad, M., Krogdahl, A. 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, M., Cuzon, G., Guillaume, J. and AQUACOP. 1996. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: in vivo and in vitro study on eight samples of various origin. *Aquaculture*, 140:361-372.

- 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. and Berge G.M. 1999. Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture*, 179:81-94.
- Hu, A., Wang, Y., Wang, Q., Zhao, M., Xiong, B., Qian, X., Zhao, X and Luo, Z. 2008. Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients with lysine and methionine supplementation to practical diets for gibel carp. *Aquaculture*, 275:260-265.
- Hung, L.T. 1989. Evaluation of soybean meal as a supplementary feed for red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). M.Sc. Thesis, Asian Institute of Technology, 110 pp.
- James, M.C. and Abu-Reseq, S.T. 1988. Effect of different cell densities of *Chlorella capsulata* and a marine *Chlorella* sp. for feeding rotifer *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture*, 69, 43-56.
- Kim, J.D., Breque, J. and Kaushik, S.J., 1998. Apparent digestibilities of feed components from fish meal or plant protein based diets in common carp as affected by water temperature. *Aquatic Living Resources*, 11:269-272.
- Lovell, R.T. 1989. Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold. New York. 260 pp.
- Mwangamilo, J. J. and N.S. 2003. Nutritional Studies and Development of a Practical Feed for Milkfish (*Chanos chanos*) Culture in Zanzibar, Tanzania. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, (2):137-146.
- Nieto-lopaz, M., Tapia-Salazar, M., Ricque-Marie, D., Villarreal-Cavazos, D., Lemme, A. and Cruz-Suarez, L.E. 2011. Digestibility of different wheat products in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 319:369-376.
- 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 redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868). *Aquaculture*, 272:564-572.
- Rezk, M.A., Kamel, E.A., Ranadan, A.A. and Dunham, R.A., 2002. Comparative growth of Egyptian tilapias in response to declining water temperature. *Aquaculture*, 207: 239-247.

- Rong Yue, Y. and Cun Zhou, Q. 2008. Effect of replacing soybean meal with cottonseed seed on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Aquaculture*, 284: 185-189.
- 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, D.M., Tabrett, S.J., Glencross, B.D., Irvin, S.J. and Barclay, M.C. 2007. Digestibility of lupin kernel meals in feeds for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 264:353-362.
- 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.
- Wang, Y., Kong, L., Li, C. and Bureau, D.P. 2006. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*). *Aquaculture*, 261:1307-1313.
- 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.
- Zhang, W., Liu, S., Wang, Y., Zheng L., Liu, F., Han, X., Ren, Y., Long, Q., Zhao, Z., Jiang, L. and Wan, J. 2010. A study of the *in vitro* protein digestibility of *indica* and *japonica* cultivars. *Food Chemistry*, 122:1199-1204.

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลผลิต/ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรอาหารเลี้ยงปลานิลต้นทุนต่ำและได้ปลานิลที่มีคุณค่าเป็นอาหารปลอดภัย
2. ได้วัตถุดิบพื้นบ้านที่นำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้
3. เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรสำหรับการเลือกใช้วัตถุดิบในการทำอาหารปลา
4. เป็นองค์ความรู้ในการทำวิจัยต่อไป

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สมาชิกสหกรณ์ และชมรมผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในจังหวัดเชียงใหม่และใกล้เคียง
2. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร
3. สถาบันการศึกษาของรัฐและเอกชน
4. เกษตรกรและบุคคลทั่วไป

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย หน่วยงานรัฐ ชุมชน เกษตรกร และผู้ที่สนใจ

วิธีการถ่ายทอด อบรมเชิงปฏิบัติการให้กับเกษตรกร หรือผู้สนใจไม่น้อยกว่า 30 คน

สถานที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

13. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การทดลองที่ 1 การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านด้วยเอนไซม์ย่อยอาหาร

เก็บตัวอย่างปลานิลในช่วงระยะการเจริญวัยอ่อน และตัวเต็มวัยเพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร สกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร โดยบดละเอียดปลานิลทั้งตัวด้วยเครื่อง homogenizer ส่วนปลานิลตัวเต็มวัยจะแยกส่วนของกระเพาะอาหาร และลำไส้ออกมาบดด้วยเครื่อง homogenizer เช่นกัน ขณะที่บดจะแช่ในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว $10,000 \times g$ นาน 20 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็น Crude extract สำหรับวิเคราะห์กิจกรรม และตรวจสอบสถานะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร

ศึกษาการย่อยอาหารของเอนไซม์อะไมเลส และ โปรตีนเอส ใน วัตถุดิบอาหารสัตว์พื้นบ้าน จำนวน 15 ชนิด โดยศึกษาในพีชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วแดงหลวง ถั่วดำ เป็นต้น ข้าวโพด ใบกระถินป่น มูลสุกรที่ผ่านการหมักย่อยแบบไร้อากาศ เมล็ดทานตะวันป่น กากนมถั่วเหลือง กากน้ำตาล EM น้ำมันจากพืช สหรัยไล่ไก่ ยีสต์ ด้วยวิธี *in vitro* digestibility และนำผลการทดลองที่ดีที่สุด มาใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงปลานิล

การทดลองที่ 2 การสร้างสูตรอาหารและการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิล

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารโดยเอนไซม์ย่อยปลานิลสองระยะแล้ว นำผลที่ได้มาปรับสูตรอาหารเพื่อใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิล เปรียบเทียบกับสูตรอาหารควบคุมที่มีอยู่ในท้องตลาด สูตรอาหารควบคุมประกอบไปด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ ดังนี้ ปลาป่น 30 กิโลกรัม กากถั่วเหลือง 30 กิโลกรัม รำ 30 กิโลกรัม ปลาขี้ขาว 5 กิโลกรัม น้ำมันพืช 4 ลิตร และเกลือแร่วitamin 1 กิโลกรัม สูตร

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์(CRD) ให้อาหาร ให้ปลากินจนอิ่มวันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็น ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตรวจวัดความยาวและน้ำหนักของปลานิลทุก 14 วัน จนครบระยะเวลาของการทดลอง และเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ดังนี้

1. น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Mean weight gain)
2. อัตรารอด (Survival rate)
3. อัตราการแลกเนื้อ (FCR)
4. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate; SGR)
5. น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (Average daily growth)
6. ความยาวเพิ่มเฉลี่ยของปลา (Length gain)
7. อัตราการกินอาหาร (Feed Intake)

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน(Test) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0

14. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)
- ระยะเวลา 2 ปี เริ่มตุลาคม 2555 – กันยายน 2557

[illegible]

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย, โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

-ไม่มี-

16. งบประมาณของโครงการวิจัย

16.1 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณต่าง ๆ [ปีงบประมาณ ที่เสนอขอ (ผนวก 5)]

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร (ถ้ามี) (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 1.1 ผู้ช่วยนักวิจัยทำงานเต็มเวลา - ค่าจ้างชั่วคราว ปริญาตรี จำนวน ..1.... คน ...12.... เดือน (.1.... x 12.... x 8,700 = ...104,400..... บาท)	104,400
2. งบดำเนินงาน (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 2.1 ค่าตอบแทน	
2.2.ค่าใช้จ่าย เช่น	
1) ใช้จ่ายในการเดินทาง - ค่าเบี้ยเลี้ยง จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าเช่าที่พัก จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าพาหนะ จำนวน.....คัน.....วัน.....บาท (คำอธิบาย :ระบุจำนวนคน และจำนวนวัน พิจารณาให้เหมาะสมกับระเบียบวิธีวิจัย และชี้แจงเหตุผลในการเดินทาง เช่น ต้องเก็บข้อมูล ฯลฯ ค่าเบี้ยเลี้ยง ข้าราชการระดับ 9 ขึ้นไป หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 270 บาท/คน/วัน ข้าราชการระดับ 8 ลงมา หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 240 บาท/คน/วัน ค่าที่พัก : เหม่าจ่ายวันละ 800 บาท/คน/วัน ค่าพาหนะ ในกรุงเทพฯ ค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,500 บาท ต่างจังหวัดค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,800 บาท)	
2) ค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์ (คำอธิบาย :ทุกรายการควรแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายให้ชัดเจนว่าซ่อมครุภัณฑ์อะไร และใช้ในการวิจัยในขั้นตอนไหน)	
3) ค่าจ้างเหมาบริการ ค่าจ้างเหมาชุดลอกปรับปรุงบ่อทดลอง 3 ครั้ง ค่าจ้างเหมาพิมพ์งาน	15,000 5,000
4) ค่าใช้จ่ายในการจัดสัมมนาและฝึกอบรม (ถ้ามี)	

รายการ	จำนวนเงิน
5) ค่าเงินประกันสังคม (คำอธิบาย : ตั้งได้เฉพาะรายการที่มีค่าจ้างชั่วคราวรายเดือนเต็มเวลานั้น)	
6) ค่าจัดทำเล่มรายงานความก้าวหน้าและรายงานฉบับสมบูรณ์ (..... x = บาท) (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดจำนวนเล่ม และราคา)	
7) ค่าใช้สอยอื่นๆ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	
2.3 ค่าวัสดุ เช่น	
1) วัสดุเคมี (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด ราคาและปริมาณการนำไปใช้งานด้วย) ค่าสารเคมีในการตรวจวัดการย่อยและ เอนไซม์ วัสดุวิทยาศาสตร์	70,000 15,000
2) วัสดุสำนักงาน (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	10,000
3) วัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	
4) วัสดุไฟฟ้าและวิทยุ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
5) วัสดุโฆษณาและเผยแพร่ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
6) วัสดุคอมพิวเตอร์ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	5,000
7) วัสดุอื่นๆ ฯลฯ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	
2.4 ค่าธรรมเนียมการอุดหนุนสถาบัน (คำอธิบาย : เป็นค่าสาธารณูปโภค ไม่เกินร้อยละ 10 ของงบวิจัยไม่รวมค่าครุภัณฑ์)	22,440
3.งบลงทุน / ครุภัณฑ์ (ถ้ามี) 3.1 3.2 ฯลฯ (คำอธิบาย : เครื่องมือที่เป็นครุภัณฑ์ต้องแนบใบเสนอราคา พร้อมชี้แจงเหตุผลความจำเป็นว่าต้องใช้ในขั้นตอนใดของการวิจัย หน่วยงานของนักวิจัยมีใช้หรือไม่ ถ้าเป็นครุภัณฑ์ประจำสำนักงาน เช่น โต๊ะ ตู้ จะไม่ได้รับอนุมัติ)	
รวมงบประมาณ	247,340

16.2 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณต่าง ๆ ที่เสนอขอในแต่ละปี [กรณีเป็นโครงการวิจัยที่มีระยะเวลาดำเนินการวิจัยมากกว่า 1 ปี (ผนวก 8)]

ปีที่ 1

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร (ถ้ามี) (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 1.1 ผู้ช่วยนักวิจัยทำงานเต็มเวลา - ค่าจ้างชั่วคราว ปริญาตรี จำนวน ..1.... คน ...12.... เดือน (.1.... x 12.... x 8,700 = ...104,400..... บาท)	104,400
2. งบดำเนินงาน (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 2.1 ค่าตอบแทน	
2.2.ค่าใช้สอย เช่น	
1) ใช้จ่ายในการเดินทาง - ค่าเบี้ยเลี้ยง จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าเช่าที่พัก จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าพาหนะ จำนวน.....คัน.....วัน.....บาท (คำอธิบาย :ระบุจำนวนคน และจำนวนวัน พิจารณาให้เหมาะสมกับระเบียบวิธีวิจัย และชี้แจงเหตุผลในการเดินทาง เช่น ต้องเก็บข้อมูล ฯลฯ ค่าเบี้ยเลี้ยง ข้าราชการระดับ 9 ขึ้นไป หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 270 บาท/คน/วัน ข้าราชการระดับ 8 ลงมา หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 240 บาท/คน/วัน ค่าที่พัก : เหม่าจ่ายวันละ 800 บาท/คน/วัน ค่าพาหนะ ในกรุงเทพฯ ค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,500 บาท ต่างจังหวัดค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,800 บาท)	
2) ค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์ (คำอธิบาย :ทุกรายการควรแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายให้ชัดเจนว่าซ่อมครุภัณฑ์อะไร และใช้ในการวิจัยในขั้นตอนไหน)	
3) ค่าจ้างเหมาบริการ ค่าจ้างเหมาชุดลอกปรับปรุงบ่อทดลอง 3 ครั้ง ค่าจ้างเหมาพิมพ์งาน	15,000 5,000
4) ค่าใช้จ่ายในการจัดสัมมนาและฝึกอบรม (ถ้ามี)	
5) ค่าเงินประกันสังคม (คำอธิบาย : ตั้งได้เฉพาะรายการที่มีค่าจ้างชั่วคราวรายเดือนเต็มเวลาเท่านั้น)	
6) ค่าจัดทำเล่มรายงานความก้าวหน้าและรายงานฉบับสมบูรณ์ (..... x = บาท) (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดจำนวนเล่ม และราคา)	
7) ค่าใช้สอยอื่นๆ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	

รายการ	จำนวนเงิน
2.3 ค่าวัสดุ เช่น	
1) วัสดุเคมี (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด ราคาและปริมาณการนำไปใช้งานด้วย) ค่าสารเคมีในการตรวจวัดการย่อยและ เอนไซม์ วัสดุวิทยาศาสตร์	70,000 15,000
2) วัสดุสำนักงาน (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	10,000
3) วัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	
4) วัสดุไฟฟ้าและวิทยุ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
5) วัสดุโฆษณาและเผยแพร่ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
6) วัสดุคอมพิวเตอร์ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	5,000
7) วัสดุอื่นๆ ฯลฯ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	
2.4 ค่าธรรมเนียมการอุดหนุนสถาบัน (คำอธิบาย : เป็นค่าสาธารณูปโภค ไม่เกินร้อยละ 10 ของงบวิจัยไม่รวมค่าครุภัณฑ์)	22,940
3.งบลงทุน / ครุภัณฑ์ (ถ้ามี) 3.1 3.2 ฯลฯ (คำอธิบาย : เครื่องมือที่เป็นครุภัณฑ์ต้องแนบใบเสนอราคา พร้อมชี้แจงเหตุผลความจำเป็นว่าต้องใช้ในขั้นตอนใดของการวิจัย หน่วยงานของนักวิจัยมีใช้หรือไม่ ถ้าเป็นครุภัณฑ์ประจำสำนักงาน เช่น โต๊ะ ตู้ จะไม่ได้รับอนุมัติ)	
รวมงบประมาณ	247,340

ปีที่ 2

รายการ	จำนวนเงิน
1. งบบุคคลากร (ถ้ามี) (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 1.1 ผู้ช่วยนักวิจัยทำงานเต็มเวลา - ค่าจ้างชั่วคราว ปริญาตรี จำนวน ..1.... คน ...12.... เดือน (.1.... x 12..... x 8,700 = ...104,400..... บาท)	104,400
2. งบดำเนินงาน (ให้เขียนเฉพาะรายการที่มี) 2.1 ค่าตอบแทน	
2.2.ค่าใช้สอย เช่น 1) ใช้จ่ายในการเดินทาง - ค่าเบี้ยเลี้ยง จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าเช่าที่พัก จำนวน.....คน.....วัน.....บาท - ค่าพาหนะ จำนวน.....คัน.....วัน.....บาท (คำอธิบาย :ระบุจำนวนคน และจำนวนวัน พิจารณาให้เหมาะสมกับระเบียบวิธีวิจัย และชี้แจงเหตุผลในการเดินทาง เช่น ต้องเก็บข้อมูล ฯลฯ ค่าเบี้ยเลี้ยง ข้าราชการระดับ 9 ขึ้นไป หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 270 บาท/คน/วัน ข้าราชการระดับ 8 ลงมา หรือตำแหน่งเทียบเท่า = 240 บาท/คน/วัน ค่าที่พัก : เหม่าจ่ายวันละ 800 บาท/คน/วัน ค่าพาหนะ ในกรุงเทพฯ ค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,500 บาท ต่างจังหวัดค่าเช่ารถตู้ไม่เกินวันละ 1,800 บาท)	
2) ค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์ (คำอธิบาย :ทุกรายการควรแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายให้ชัดเจนว่าซ่อมครุภัณฑ์อะไร และใช้ในการวิจัยในขั้นตอนไหน)	
3) ค่าจ้างเหมาบริการ ค่าจ้างเหมาชุดลอกปรับปรุงบ่อทดลอง 3 ครั้ง ค่าจ้างเหมาพิมพ์งาน	15,000 5,000
4) ค่าใช้จ่ายในการจัดสัมมนาและฝึกอบรม (ถ้ามี)	
5) ค่าเงินประกันสังคม (คำอธิบาย : ตั้งได้เฉพาะรายการที่มีค่าจ้างชั่วคราวรายเดือนเต็มเวลาเท่านั้น)	
6) ค่าจัดทำเล่มรายงานความก้าวหน้าและรายงานฉบับสมบูรณ์ (..... x = บาท) (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดจำนวนเล่ม และราคา)	
7) ค่าใช้สอยอื่นๆ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	
2.3 ค่าวัสดุ เช่น	
1) วัสดุเคมี (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด ราคาและปริมาณการนำไปใช้งานด้วย)	

รายการ	จำนวนเงิน
ปลายินขนาด 3 นิ้ว ตัวละ 4.50 บาท จำนวน 500 ตัว ค่าสารเคมีในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ วัสดุอาหารสัตว์สำหรับการทำอาหารปลา วัสดุการเกษตร ทำกระชัง วัสดุวิทยาศาสตร์ ปุ๋ย สารเคมี	2,250 30,000 35,000 15,000 5,000
2) วัสดุสำนักงาน (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	10,000
3) วัสดุเชื้อเพลิงและหล่อลื่น	
4) วัสดุไฟฟ้าและวิทยุ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
5) วัสดุโฆษณาและเผยแพร่ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	
6) วัสดุคอมพิวเตอร์ (คำอธิบาย : ให้จำแนกรายละเอียดการนำไปใช้งานให้ชัดเจน)	5,000
7) วัสดุอื่นๆ ฯลฯ (คำอธิบาย : ถ้ามีหลายรายการให้จำแนกรายละเอียด)	
2.4 ค่าธรรมเนียมการอุดหนุนสถาบัน (คำอธิบาย : เป็นค่าสาธารณูปโภค ไม่เกินร้อยละ 10 ของงบวิจัยไม่รวมค่าครุภัณฑ์)	22,665
3.งบลงทุน / ครุภัณฑ์ (ถ้ามี) 3.1 3.2 ฯลฯ (คำอธิบาย : เครื่องมือที่เป็นครุภัณฑ์ต้องแนบใบเสนอราคา พร้อมชี้แจงเหตุผลความจำเป็นว่าต้องใช้ในขั้นตอนใดของการวิจัย หน่วยงานของนักวิจัยมีใช้หรือไม่ ถ้าเป็นครุภัณฑ์ประจำสำนักงาน เช่น โต๊ะ ตู้ จะไม่ได้รับอนุมัติ)	
รวมงบประมาณ	249,315

16.3 งบประมาณการวิจัยที่ได้รับจัดสรรในแต่ละปีที่ผ่านมา (กรณีเป็นโครงการวิจัย
ต่อเนื่องที่ได้รับอนุมัติให้ทำการวิจัยแล้ว)

-

17. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วัตถุดิบพื้นบ้านที่นำมาใช้ในสูตรอาหารที่ลดต้นทุน และ เป็นอาหารปลอดภัย ระดับ
ความสำเร็จของงาน เป็น G

18. โครงการวิจัยต่อเนื่องปีที่ 2 ขึ้นไป

18.1 คำรับรองจากหัวหน้าโครงการวิจัยว่าโครงการวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณ
จริงในปีงบประมาณที่ผ่านมา

18.2 ระบุว่าโครงการวิจัยนี้อยู่ระหว่างเสนอของบประมาณจากแหล่งเงินทุนอื่น หรือ
เป็นการวิจัยต่อยอดจากโครงการวิจัยอื่น (ถ้ามี)

18.3 รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย (แบบ ต-1ช/ด)

19. คำชี้แจงอื่น ๆ (ถ้ามี)

20. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย พร้อมวัน เดือน ปี

.....
ดร. สุดาพร ตงศิริ

หัวหน้าโครงการวิจัย

...../...../.....

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ -นามสกุล นางสาวสุดาพร ตงศิริ
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3 5707 00049 12 6
3. สังกัด คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Email-address (มหาวิทยาลัย) sudaporn@mju.ac.th
Email-address (อื่น) sudap2515@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์มือถือ 081-111-3162
เบอร์โทรศัพท์ที่ทำงาน 0-5387-3470-2 ต่อ 210
โทรสาร 0-5387-3470-2 ต่อ 130
4. ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
เลขที่ 63 หมู่ 4 ต. นองหาร อ. สันทราย
จ. เชียงใหม่ 50290
5. ประวัติการศึกษา
ปี 2536 วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปี 2541 วท.ม. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปี 2553 วท.ด. (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ :
เอนไซม์ ไคตินเนส , การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไร้อากาศ, การใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ, การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา, การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืดและการเก็บรักษาสาหร่ายน้ำจืด, การเลี้ยงปลาบึกโดยเสริมสาหร่ายสไปรูลีนา, ชีวเคมีทางอาหารสัตว์
7. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

Publication :

1. **Tongsiri S.,** Meng-Amphan K. and Peerapornpisal Y. 2010. Characterization of Amylase, Cellulase and Proteinase Enzyme in Stomach and Intestine of the Mekong Giant Catfish Fed with Various Diets Consisting of *Spirulina*. Current Research Journal of Biological Sciences 2(4): 268-274.

2. **Tongsiri S.**, Meng-Amphan K. and Peerapornpisal Y. 2010. Effect of Replacing Fishmeal with *Spirulina* on Growth, Carcass Composition and Pigment of the Mekong Giant Catfish. Asian Journal of Agricultural Sciences 2(3):106-110.
3. Atsawaphong M., Pimthong G. and **Tongsiri S.** 2010. Effect of Partial Replacement of Fish Meal by Peanut Meal. Journal of Agricultural Research and Extension 27(1) : 28-35.
4. **Tongsiri S.**, Mang-Amphan, K., and Peerapornpisal, Y. 2009. The Study on Growth, Digestion and Biochemical Flesh Quality of Mekong Giant Catfish fed with *Spirulina* Phycologia, 48 (4) supplement : 130-131.
5. **Tongsiri S.**, Y. Peerapornpisal, S. Choonluchanon, R. Mungmai and U. Sompong. 2005. The culture collection of freshwater algae at Chiang Mai University, Thailand. Journal of the international Phycological Society, 44 (4) : 101.
6. **Tongsiri, S.**, Peerapornpisal, Y., Choonluchanon, S., Mungmai, R. and Sompong, U. 2005. The Culture Collection of Freshwater Algae at Chiang Mai University, Thailand. 2005. Phycologia. 44 (4) supplement : 101.
7. Plikomol, A., Sriyotha, P., Supalaksanakorn, M. and **Tongsiri, S.** . 1999. Screening of Chitinase Producing Microorganism and Optimization of Its Chitinase Production. J. Sci. Fac. CMU 26(2): 74-86.

Proceedings

1. Peerapornpisal, Y., **Tongsiri, S.**, Choonluchanon, S., Mungmai, R., Sompong, U. , Pekkoh, J. and Ruangrit, K.. 2004. Algal Collection of Chiang Mai University, Thailand. Proc. on The 10th International Congress for Culture Collections. Tsukuba, Japan, Oct., 10-15, 2004: 495-496.
2. **Tongsiri, S.**, Peerapornpisal, Y., Panuvanitchagorn, N., Phualai, P., Moonsin, P., Chaumphan, P. and Kunpradid, T. 2003. Water Quality and Its Relationship with Phytoplankton Succession in Huay Tuang Tao Reservoir Between 2000-2003. Proc. on International Symposium on Environmental Management: Policy, Research, and Education. Chiang Mai, Thailand, Nov., 6-9, 2003: 315.
3. **Tongsiri, S.**, Peerapornpisal, Y. and Kunpradid, T. . 2003. Water Quality in Huay Tunag Tao Reservoir, Chiang Mai in 2002. Proc. on International Conference on Water Resources Management for Safe Drinking Water 2003, Chiang Mai, Thailand, Mar., 25 – 29, 2003: 47.

4. **Tongsiri, S.**, Panyoo, W. and Perapornpisal, Y. 2002 . Inhibitory effects of bioactive compounds from thermotolerant blue green algae on some bacteria and yeast International workshop and Training Course on Microalgal Biotechnology. 23-29 September 2002. Guangzhou, China.

Abstract

1. **Tongsiri, S.**, Mapor, A., Boonkong, K., and Jindarat, K. 2011. Effect of Enteromopha Supplement to Nile Tilapia Growth. Abstract on the 5th National conference on Alage and Plankton. Songkhla, Thailand, Mar. 16-18, 20011:130.
2. Mengumphan, K., **Tongsiri, S.**, and Amornlerdpison, D. 2011. Utilization of Fresh *Spirulina* sp. Incorporated with Fish Feed on Growth and Maturation in Pla Pok (*Pangasius bocourti*). Abstract on the 5th National conference on Alage and Plankton. Songkhla, Thailand, Mar. 16-18, 20011:100.
3. **Tongsiri, S.**, Kaewjareon, P., Sirikran, B., and Saikaew S. 2010. Low Cost African Catfish Farming by using Agricultural Waste as Feed Replacement. Abstract on The 5th Fisheries and Aquatic Resources for Security and Stability. Dec. 8-9, 20010:15.
4. Pimthong, K., Mapor, A., and **Tongsiri, S.** 2009. The Effect of partial replacement of fishmeal by Peanut meal in diets for *Pangasianodon hypophthalmus*. Abstract on The 4th Fisheries and Aquatic Resources for Security and Stability. Dec. 8-10, 2009:26-27.
5. Pekkoh, J., **Tongsiri, S.**, Vacharapiyasophon, P., Meng-Umphon, K., and Peerapornpisal, Y. 2009. Growth, Digestive enzyme of Mekong Giant Catfish feed with *Spirulina* for commercial product. Abstract on the 5th CMU: University of Excellence Where Nature Nurtures a Beautiful Intelligence. Nov.26-27. 2009:33.
6. **Tongsiri, S.**, Mengamphan, K., and Peerapornpisal, Y. 2009. The Study on Growth and Carotenoid Content in Flesh of Mekong Giant Catfis Fed with *Spirulina*. Abstract on the 4th National conference on Alage and Plankton. Khonkan, Thailand, Mar. 25-27, 2009:25.

7. Peerapornpisal, Y., PanYoyai, T., Phumas, C., **Tongsiri, S.**, and Amornlerdpipon, D. 2009. Potential of Spirogyra as Cosmeceutical Products. Abstract on the 4th National conference on Algae and Plankton. Khonkan, Thailand, Mar. 25-27, 2009:131.
8. Pekkoh, J., **Tongsiri, S.**, Whangchai, N. and Peerapornpisal, Y. 2008. Using *Spirulina* as Feed Supplementation for Improve Immune and Yield of Jumbo Prawn *Macrobracium rosenbergii* . Abstract on the 4th Research Path: Innovation for Life. Dec. 19-20. 2008: 40.
9. **Tongsiri, S.**, Whangchai, N. and Peerapornpisal, Y. 2008. Improve Product and Immune of The Giant Freshwater Prawn *Macrobracium rosenbergii* by Using *Spirulina* as Feed Supplementation. Abstract on The 3rd Fisheries and Aquatic Resources for Security and Stability. Dec. 8-9, 2008:65.
10. Peerapornpisal, Y., **Tongsiri, S.**, Srisuksomvong, P. and Whangchai, N. 2007. Spirulina Production in High Nutritional Value for Local Community as Human Food Supplement, Aquatic Feed and Beautiful Products. Abstract on the 3st Research Path: Towards a Green and Happy Society. Dec. 8-10. 2007: 34.

งานวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. การศึกษาการหมักยอยมูลไก่แบบครึ่งคราวในสภาวะไร้อากาศ ปี 2543
2. คลังสาหร่ายมหาวิทยาลัยเชียงใหม่: การศึกษาข้อมูลทางพันธุกรรม สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อประโยชน์ด้านอุตสาหกรรม ปี 2550
3. การใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารเสริมเพื่อปรับปรุงภูมิคุ้มกันและเพิ่มผลผลิตกุ้งก้ามกราม ปี 2551
4. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ภายใต้โครงการ การบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากเครือข่ายวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคเหนือเพื่อการพึ่งตนเอง ปี 2551
5. การเลี้ยงปลาเพาะร่วมกับปลาบึกในบ่อดินเพื่อการค้า ปี 2553

ผู้ร่วมโครงการ

1. Screening of Chitinase Producing Microorganism and Optimization of Its Chitinase Production ปี 2538-2543
2. การถ่ายทอดการเพาะเลี้ยงและผลิตสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารเสริมของคนและสัตว์เศรษฐกิจสู่ชุมชน ปี 2545
3. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ปี 2546
4. การแปรรูปสาหร่ายกินได้สู่ชุมชน ปี 2547

5. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกากส่าเหล้าในระดับนําร่อง ปี 2548
6. การเก็บรักษาพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กในเขตภาคเหนือตอนบน ปี 2548
7. การใช้ประโยชน์บางประการจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ทนร้อนจากน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปีที่ 2 ปี 2548
8. การผลิตสาหร่ายสไปรูลินาที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงในระดับชุมชนเพื่อเป็นอาหารเสริมของคนสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม ปี 2550
9. การถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์สไปรูลินาจากธรรมชาติและสาหร่ายสไปรูลินา ภายใต้โครงการโครงการถ่ายทอดผลงานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคเหนือเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืนปี 2552
10. การเลี้ยงปลาอุกและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ภายใต้โครงการ โครงการถ่ายทอดผลงานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคเหนือเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน ปี 2552
11. ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเวชสำอาง ปี 2552
12. การประยุกต์ใช้รังควัตถุกลุ่มไฟโคบิลิโปรตีนทนร้อนจากไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria* sp. KC45 ในการพัฒนาเครื่องสำอาง ปี 2552
13. การศึกษานําร่องของการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยใช้กากน้ำตาลเพื่อใช้เป็นโปรตีนเสริมในอาหารลูกปลาวัยอ่อน ปี 2552
14. โครงการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายขนาดเล็กด้วยระบบน้ำเขียว ปี 2552
15. โครงการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายขนาดเล็กด้วยระบบน้ำเขียว ระยะที่ 2 ปี 2553
16. การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตสายพันธุ์ปลาบึกและปลาหนังเนื้อขาว ปี 2553
17. การพัฒนาสูตรอาหารปลานิลโดยใช้กากเหลือจากการหมักมูลสุกรทดแทนแหล่งโปรตีน เพื่อลดต้นทุนการผลิต ปี 2554
18. ผลของสาหร่ายเตาต่อระบบต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์กำจัดสารพิษในปลานิล ปี 2554

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) | นางดวงพร อมรเลิศพิศาล |
| ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) | Mrs. Dounporn Amornlerdpison (Kawpinit) |
| หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน | 3659900057529 |
| 2. ตำแหน่งปัจจุบัน | อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทาง |
| น้ำ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290 |
| 3. ตำแหน่งวิชาการ | อาจารย์ |

4. หน่วยงานและที่อยู่ติดต่อ

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

โทรศัพท์ 0-5387-3470-2 ต่อ 213

โทรสาร 0-5387-3470-2 ต่อ 130

E-mail:doung_fishtech@hotmail.com,

doung_prim@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	ปีจบการศึกษา	ชื่อปริญญา	ชื่อมหาวิทยาลัย
ตรี	2532	วิทยาศาสตรบัณฑิต (พยาบาลศาสตร์)	เชียงใหม่
โท	2536	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เภสัชวิทยา)	เชียงใหม่
เอก	2551	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)	เชียงใหม่

6. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ การวิจัยและพัฒนาคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติ โดยเน้นการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพที่เกี่ยวกับเภสัชวิทยาและพิษวิทยาของสาหร่ายและทรัพยากรน้ำ

7. ประสบการณ์ทำงาน

7.1 หัวหน้าโครงการ

ปี พ.ศ.	โครงการวิจัย	สถาบันที่ให้ทุนวิจัย
2552	ฤทธิ์ลดความดันโลหิต และป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของผลไม้ไทย 8 ชนิด	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)
2553	ศักยภาพของน้ำมันปลาหนังน้ำจืดในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
2554-2555	ผลของสาหร่ายเตาต่อระบบต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์กำจัดสารพิษในปลานิล	งบแผ่นดิน ม.แม่โจ้/ วช.

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ตั้งแต่ปี 2549-ปัจจุบัน)

ปี พ.ศ.	งานวิจัย	สถาบันที่ให้ทุนวิจัย
2549-2551	โครงการวิจัย : กลุ่มสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ระวังการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร และลดความดันโลหิตจากสาหร่ายทะเลบางชนิด	สำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ.) และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
2551-2552	โครงการวิจัย ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและระวังการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่เพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องสำอาง	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
2552-2553	โครงการวิจัย ฤทธิ์ลดความดันโลหิต และป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของผลไม้ไทย 8 ชนิด (หัวหน้าโครงการ)	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

2552-2553	โครงการวิจัย ฤทธิ์ต้านความเหนียวล้าของพืชที่มีสรรพคุณ พื้นฟูพลังและชะลอความชราตามภูมิปัญญาของชาว ไทยภูเขา	สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย (สกว.)
2553-2554	โครงการวิจัย การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตสายพันธุ์ ปลาบึกและปลาหนังเนื้อขาว	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)
2553-2554	โครงการวิจัย ฤทธิ์ปกป้องและต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย เตาในหนูที่มีภาวะแทรกซ้อนจากโรคเบาหวานชนิดที่ 2	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)
2553-2554	โครงการวิจัย ศักยภาพของน้ำมันปลาหนังน้ำจืดในการ เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (หัวหน้าโครงการ)	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)
2554-2555	โครงการวิจัย ผลของสาหร่ายเตาต่อระบบต้านอนุมูลอิสระ และเอนไซม์กำจัดสารพิษในปลานิล (หัวหน้าโครงการ)	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติในฐานสากล ตั้งแต่ปี 2005

1. Rujjanawate, C., Kanjanapothi, D., **Amornlerdpison, D** and S.Pojanagaroon. 2005. Anti-gastric ulcer effect of *Kaempferia parviflora*. J. Ethnopharmacology. 102: 120-122.
2. Rujjanawate, C., Kanjanapothi, D., **Amornlerdpison, D**. 2005. Antiulcerogenic activity of *Microspora floccosa*. J. Trop. Med. Plants. 6(2): 153-157.
3. Peerapornpisal, Y., **Amornlerdpison, D**. Rujjanawate, C., Ruangrit, K. and Kanjanapothi, D. 2006. Two endemic species of macroalgae in Nan river, Northern Thailand, as therapeutic agents. Science Asia 32 supplement 1: 71-76.
4. **Amornlerdpison D**, Peerapornpisal Y, Rujjanawate C, Taesotikul T, Nualchareon M, Kanjanapothi D (2007): Hypotensive Activity of Some Marine Algae. J Sci Res Chula (section T): 363-368.
5. **Amornlerdpison, D.**, Peerapornpisal, Y., Rujjanawate, C., Taesotikul, T., Nualchareon, M., Kanjanapothi, D. (2007). Antioxidant activity of *Padina minor* Yamada. KMITL Science and Technology Journal 7 (S1):1-7.
6. **Amornlerdpison, D.**, Peerapornpisal, Y., Taesotikul, T., Utan J., Nualchareon, M., Kanjanapothi, D. (2008). Antioxidant activity of *Sargassum polysystem* C.Agardh. J Fish Tech Res 2 (2):96-103.

7. **Amornlerdpison, D.**, Peerapornpisal, Y., Taesotikul, T., Noiraksar T., Kanjanapothi, D. (2009). Gastroprotective activity of *Padina minor* Yamada. Chiang Mai J Sci 36 (1): 94-103.
8. Boonchum W, **Amornlerdpison D.**, Peerapornpisal Y., Kanjanapothi D., Taesotikul T., Vacharapiyasophon P. (2009). Gastroprotective activity of marine alga, *Turbinaria conoides*. Phycologia 48(4) Suppl: 11.
9. Peerapornpisal Y., Kanjanapothi, D, Taesotikul, T., **Amornlerdpison D.** (2009). Potential of some freshwater algae in Northern Thailand as nutraceutical. Phycologia 48(4) Suppl: 104.
10. Lailerd N.,Pongchaidecha A., **Amornlerdpison D.**, Peerapornpisal Y. (2009). Beneficial effects of *Spirogyra neclecta* extract on glycemic and lipidemic status in streptozotocin-induced Diabetic rats fed a diet enriched in fat. Annals of Nutrition&Metabolism 55(S1):609.
11. Peerapornpisal Y., **Amornlerdpison D.**, Jamjai U, Taesotikul T., Pongpaibul Y., Nualchareon M. and Kanjanapothi D. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of brown marine alga, *Padina minor* Yamada. Chiang Mai J. Sci 37(3): 1-10.
12. Mengumphan K., Whangcha N. and **Amornlerdpison D.** (2010) Effects of extender type, sperm volume, cryoprotectant concentration, cryopreservation and time duration on motility, survival and fertilisation rates of Mekong giant catfish sperm. Maejo Int J Sci Tech 4(3), 417-427.
13. Keardrit K., Rujjanawate C. and **Amornlerdpison D.** Analgesic, antipyretic and anti-inflammatory effects of *Tacca chantrieri* Andre.J Med Plants Res 2010; 4(19): 1991–1995.
14. Boonchum W., Peerapornpisal Y. Kanjanapothi D. Pekkoh J., Pumas C., Jamjai U. **Amornlerdpison D.**, Noiraksar T. and Vacharapiyasophon P. (2011) Antioxidant activity of some seaweed from the Gulf of Thailand. Int. J Agric Biol 13 (1), 95-9.
15. Boonchum W., Peerapornpisal Y. Kanjanapothi D. Pekkoh J., **Amornlerdpison D.**, Pumas C., Sangpaiboon P. and Vacharapiyasophon P. (2011) Antimicrobial and anti-inflammatory properties of various seaweeds from the Gulf of Thailand. Int. J Agric Biol 13 (1), 100-4.

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ

ปี พ.ศ.	โครงการวิจัย	สถาบันที่ให้ทุนวิจัย
2553	ศักยภาพของน้ำมันปลาหนังน้ำจืดในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

	การวิจัยสุ่งแล้วประมาณร้อยละ 90	
2554-2555	ผลของสาหร่ายเตาต่อระบบด้านอนุมูลิสรและเอนไซม์ กำจัดสารพิษในปลานิล การวิจัยสุ่งแล้วประมาณร้อยละ 60	งบแผ่นดิน ม.แม่ใจ/ วช.

8. เลขทะเบียนนี้วิจัยแห่งชาติของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

00005370



คำรับรองว่าจะปฏิบัติตามข้อบังคับฯ และระเบียบฯ ในการรับทุนอุดหนุนวิจัย

วัน/เดือน/ปี

ชื่อ-สกุล

ลายมือชื่อ

หน่วยงาน

..... ดร. สุดาพร ตงศิริ คณะเทคโนโลยีการประมง ฯ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

..... ดร. ดวงพร อมรเลิศพิศาล.....คณะเทคโนโลยีการประมง ฯ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โครงการนี้ได้ผ่านการพิจารณาเห็นชอบโดยผู้บังคับบัญชา ให้ดำเนินการวิจัยได้และอนุญาตให้ใช้สถานที่
และอุปกรณ์ทำการวิจัย

วัน/เดือน/ปี

ชื่อ-สกุล

ลายมือชื่อ

ตำแหน่ง

..... ผศ. ดร. จงกล พรหมยะคณบดีคณะเทคโนโลยีการประมง ฯ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้



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 กึ่งกุลด้า ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กึ่งย่อยได้ดี คือ ปลาขี้ขาว wheat gluten *Spirulina* sp. และ ยีสต์ จากการศึกษาดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่า เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลงจนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์ที่ย่อยอาหารประเภท โปรตีนซึ่งเอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ โปรติเอส มีการทำงานที่ดีในสภาพที่เป็นด่าง และมีค่ากิจกรรมการทำงานที่แตกต่างภายใต้อุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้ความสามารถในการย่อยของปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน เอนไซม์ทริปซินและไลโซทริปซินจะช่วยย่อยโปรตีนออกสเป็นเปปไทด์ 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 (เสนห์, 2552) จากเหตุผลดังกล่าวมีแนวโน้มการผลิตปลานิลเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเป็นปลาที่มีราคาดี ไม่ประสบกับปัญหาเรื่องโรคระบาด ทำให้เป็นที่นิยมบริโภคและเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันปลานิลสามารถจัดเป็นสินค้าส่งออกไปสู่ต่างประเทศในลักษณะของปลาแช่เนื้อ โดยตลาดที่สำคัญๆ อาทิ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี เป็นต้น (กรมประมง, 2554)

ประโยชน์และความสำคัญของอาหารปลานิล

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

อาหารสัตว์น้ำนอกจากจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วน และปริมาณที่เพียงพอแล้ว ยังจะต้องมีรูปแบบที่สะดวกและเหมาะสมต่อชนิด ขนาด และวัยของสัตว์น้ำด้วย ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับแล้วว่าอาหารสัตว์น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตโดยตรง อาหารสัตว์น้ำนั้นมีผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำหลายด้าน กล่าวคือสมรรถภาพในการทำงานของร่างกาย สมอง และประสาท การที่สัตว์น้ำได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ หรือในภาวะบกพร่องทางโภชนาการ ย่อมทำให้การเจริญเติบโตของร่างกายไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ปกติ เกิดความผิดปกติของร่างกายทั้งทางด้านโครงสร้างรูปร่าง และขนาด ในที่สุดทำให้สัตว์น้ำแคระแกร็น ถ้าเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นกับสัตว์น้ำในระยะเริ่มแรกหรือในระยะวัยอ่อน ย่อมจะส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงการทำงานของสมองและระบบประสาทในระยะต่อมา บางกรณีอาจรุนแรงจนทำให้การทำงานของสมองและระบบประสาทเสื่อมได้ สัตว์น้ำได้รับอาหารที่มีโภชนาการต่ำ ร่างกายจะไม่แข็งแรง ติดเชื้อง่าย เพราะร่างกายไม่สามารถต้านทานโรคได้ตามปกติ ความสามารถในการต้านทานโรคของสัตว์น้ำเกิดขึ้นอย่างเป็นวงจรในภาวะขาดแคลนอาหารหรือโภชนาการต่ำ ก็จะทำให้การต้านทานโรคลดลง สัตว์น้ำก็เป็นโรคได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้อาหารสัตว์ยังมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศในหลายๆ ประการด้วยกัน (เจษฎา, 2549)

การเลี้ยงปลานิล

การเตรียมบ่อดิน ควรเป็นบ่อที่สามารถเก็บกักน้ำได้ระดับสูง 1 เมตร บ่อเลี้ยงปลาควรมีเชิงลาดตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันดินพังทลาย ต้องกำจัดศัตรูของปลา แล้วใส่ปุ๋ยคอกแห้ง 300 กก. ต่อไร่ ตากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน แล้วจึงเปิดหรือสูบน้ำเข้าบ่อ ผ่านตะแกรงตาถี่ อัตราการปล่อยปลาลี้ยงในบ่อดิน 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 แล้วนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักในขณะที่ปล่อยปลาลงเลี้ยง ถ้าในบ่อเก่ามีเลนมากจำเป็นต้องสาดเลนขึ้นโดยนำไปเสริมคัดดินที่ขรุขระ 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 ปีบ ขยำโล่ดินเพื่อให้ น้ำสีขาวออกมาหลาย ๆ ครั้งจนไม่มีน้ำสีขาวออกจึงนำไปสาคให้ทั่วบ่อ 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 ซึ่งพืชขนาดเล็กมีความต้องการใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง 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 ควร ลดลงเพียงครึ่งหนึ่ง หรือสังเกตจากสีของน้ำในบ่อ ถ้ายังมีสีเขียวอ่อนแสดงว่ามีอาหารธรรมชาติ เพียงพอ ถ้าน้ำใสเนื่องจากปราศจากอาหารในธรรมชาติก็เพิ่มอัตราส่วนให้มากขึ้น และในกรณีที่ ไม่สามารถใส่ปุ๋ยคอก อาจใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ สูตร 15 : 15 : 15 ใส่ประมาณ 5 กก. ต่อไร่ต่อเดือน ทดแทนวิธีใส่ปุ๋ย ถ้าเป็นปุ๋ยคอกควรตาก บ่อให้แห้ง เพราะปุ๋ยสดจะทำให้ น้ำมีแก๊สจำพวก แอมโมเนียละลายอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นอันตรายต่อปลา การใส่ปุ๋ยคอกใช้วิธีหว่านลงไปในบ่อ ให้ละลายน้ำทั่ว ๆ บ่อ ส่วนปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยสดนั้นควร กองสุมไว้ ตามมุมบ่อ 2-3 แห่ง โดยมีไม้ปัก ล้อมเป็นคอกครอบกองปุ๋ยเพื่อป้องกันมิให้ส่วนที่ยังไม่สลายตัวกระจัดกระจาย

3. อัตราปล่อยปลาเลี้ยงในบ่อดิน ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ อาหาร และการจัดการเป็น สำคัญ โดยทั่วไป จะปล่อยลูกปลานิลขนาด 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 หั่นต้ม ให้สุก และเศษเหลือของอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น กากถั่วเหลืองจากโรงทำเต้าหู้ กากถั่วลิสง อาหารผสมซึ่งมีปลาป่น รำข้าว ปลายข้าว มีจำนวน โปรตีนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เศษอาหารที่เหลือจากโรงครัวหรือภัตตาคาร อาหารประเภทพืชผัก

เช่น แหนเป็น สาหร่าย ผักตบชวาสับให้ละเอียด เป็นต้น อาหารสมทบเหล่านี้ควรเลือกชนิดที่มีราคา ถูกและหาได้สะดวกส่วนปริมาณที่ให้ก็ไม่ควรเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง หรือจะใช้ วิธีสังเกตจากปลาที่ขึ้นมากินอาหารจากจุดที่ให้เป็นประจำ คือ ถ้ายังมีปลานิลออกกันอยู่มากเพื่อรอ กินอาหารก็เพิ่มจำนวนอาหารมากขึ้นตามลำดับทุก 1-2 สัปดาห์ ในการให้อาหารสมทบมีข้อพึงคว ระวัง คือ ถ้าปลากินไม่หมด อาหารจมพื้นบ่อ หรือละลายน้ำมากก็ทำให้เกิดน้ำเน่าเสียเป็นอันตราย ต่อปลาที่เลี้ยง และ/หรือต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำ เปลี่ยนน้ำบ่อยครั้ง

อาหารและการเจริญเติบโตของปลานิล

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยระดับโปรตีนที่ เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน ลูกปลาวัยอ่อนและลูก ปลานีว จะต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 32-40 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปลาใหญ่ต้องการ ระดับโปรตีนประมาณ 27-34 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด ทำ ให้สามารถกินอาหารธรรมชาติที่มีอยู่ในบ่อ เช่น ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์ เล็กๆ ที่อยู่ในบ่อ ตลอดจนสาหร่ายและแหนได้ด้วยเช่นกัน การให้อาหารจะให้อาหาร 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลาที่เลี้ยง เพราะหากให้อาหารมากเกินไป ปลาจะกินไม่หมด ล้นเปลือง ค่าอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ และยังทำให้น้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายแก่ปลาได้ (กรมประมง, 2554)

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทโปรตีนจากสัตว์

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญให้โปรตีนสูงและมีคุณภาพดีทำมาจากปลาเป็ด เศษปลาเล็กปลาน้อยหรือ หัวปลาที่เหลือจากโรงงานทำปลากระป๋องทำให้ปลาป่นที่ผลิตได้มี คุณภาพหลากหลาย (ภาพ 1) ดังนั้นในการซื้อขายปลาป่น จึงมีการแบ่งเกรด ตามเปอร์เซ็นต์ โปรตีนในปลาป่น โดยปลาป่นชั้นคุณภาพที่ 1 จะมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 60 ปลาป่น ชั้นคุณภาพที่ 2 มี โปรตีนไม่น้อยกว่า 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 2เกรด คือกากถั่วเหลือง 44 เปอร์เซ็นต์และ 48 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 44 เปอร์เซ็นต์ เป็นกากถั่วเหลืองที่มีเปลือกผสมอยู่ด้วย ส่วน กากถั่วเหลือง 48 เปอร์เซ็นต์คือกากถั่วเหลืองที่กะเทาะเอาเปลือกออก ไม่มีส่วนของเปลือกปนมาเลย ถั่วเหลืองดิบมีสารพิษอยู่มาก มีทั้งสารที่เป็นตัวกระตุ้น และแก้แ่ง รวมทั้งสารที่ทำให้เกิด การแพ้ภูมิแพ้ สาร goitrogenic และสารด้านการจับตัวเป็นก้อน และที่สำคัญคือ trypsin inhibitor ดังนั้นในกรณีของถั่วเหลือง จึงพบว่าถั่วเหลืองที่โดนความร้อนจะมีคุณค่าของโภชนาสูง กว่าถั่วดิบ แต่หากความร้อนที่ให้สูงเกินไปจะทำให้คุณค่าของโภชนาเสียได้โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ได้ของ lysine และ arginine ลดลง (พันทิพา, 2539)

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

บางส่วน ในขณะที่เดียวกันจังหวัดนครราชสีมาก็เป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่ผลิตใบกระถินแห้งและกระถินป่นส่งจำหน่ายให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และโรงงานผสมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะฟาร์มเกษตรกรโคนมในพื้นที่ ซึ่งมีฟาร์มเกษตรกรโคนมเป็นจำนวนมากที่มีความต้องการการนำใช้ทั้งกระถินแห้งและกระถินป่นมาเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ให้ผลิตน้ำนมสูงและมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอ เนื่องจากในใบกระถินมีโปรตีนสูง มีเยื่อใยต่ำ ที่สำคัญมีราคาก่อนข้างถูก และหาได้ง่ายในท้องถิ่น (จรรยาโรจน์ และคณะ, 2552)



ภาพ 2 วัตถุดิบอาหาร “กากถั่วเหลือง”

วัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำประเภทคาร์โบไฮเดรต

รำละเอียด เป็นวัตถุดิบอาหารที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น รำหยาบ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน ซึ่งในรำข้าวจะมีกรดไขมันที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย โดยเฉพาะรำข้าวใหม่จะมีกลุ่มไขมันกลุ่ม $\Omega 3$ และ $\Omega 6$ ในปริมาณสูงนอกจากนี้รำข้าวยังมีเยื่อใยสูง ส่งผลให้ปลาขับถ่ายได้ดีขึ้น ปกติแล้วรำละเอียดจะมีปริมาณโปรตีนอยู่ที่ 12-15 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 3) สำหรับการเก็บรักษารำข้าวเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ควรเก็บให้มิดชิด อย่าให้อากาศผ่านเข้ามาเกินไป 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 จึงเหมาะสมกับการทำอาหารสัตว์น้ำ (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 น้ำมันปลาสด น้ำมันตับปลาหมัก หรือน้ำมันตับปลาชนิดอื่น ๆ เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้ส่วนใหญ่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบทำให้ปลาเจริญเติบโตได้ดี และอีกทั้งยังมีกลิ่นหอมช่วยกระตุ้นการกินอาหารให้ดีขึ้น การใช้น้ำมันเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารปลาไม่ควรใช้เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะอาจทำให้ต้นทุนอาหารสูงขึ้น (กรมประมง, 2554)

อาหารเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงมาก การผลิตอาหารมีทั้งอาหารสำเร็จรูปเม็ดลอยที่มีขายในท้องตลาด และ อาหารผลิตเองเป็นอาหารจมน้ำ (ภาพ 1) ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีราคาสูงเหมือนกัน และ ในการศึกษาด้านอาหารส่วนใหญ่จะศึกษาในด้าน การเจริญเติบโตเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัตถุดิบอาหารที่ใช้ และการนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำ ดังนั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการความต้องการที่แท้จริงของปลานิลในการเจริญเติบโต ก็จะเป็นการใช้อาหารได้ประโยชน์สูงสุด และ ไม่มีการปล่อยทิ้งของสารอาหารออกสู่สภาพแวดล้อม



ภาพ 5 อาหารสัตว์น้ำผลิตแบบอาหารจม

เอนไซม์ย่อยอาหาร

เอนไซม์หรือน้ำย่อย มีหน้าที่ย่อยอาหารที่ปลากินเข้าไป โดยที่เอนไซม์จะทำให้อาหารที่ปลากินนั้นมีขนาดเล็กลง จนสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่าย

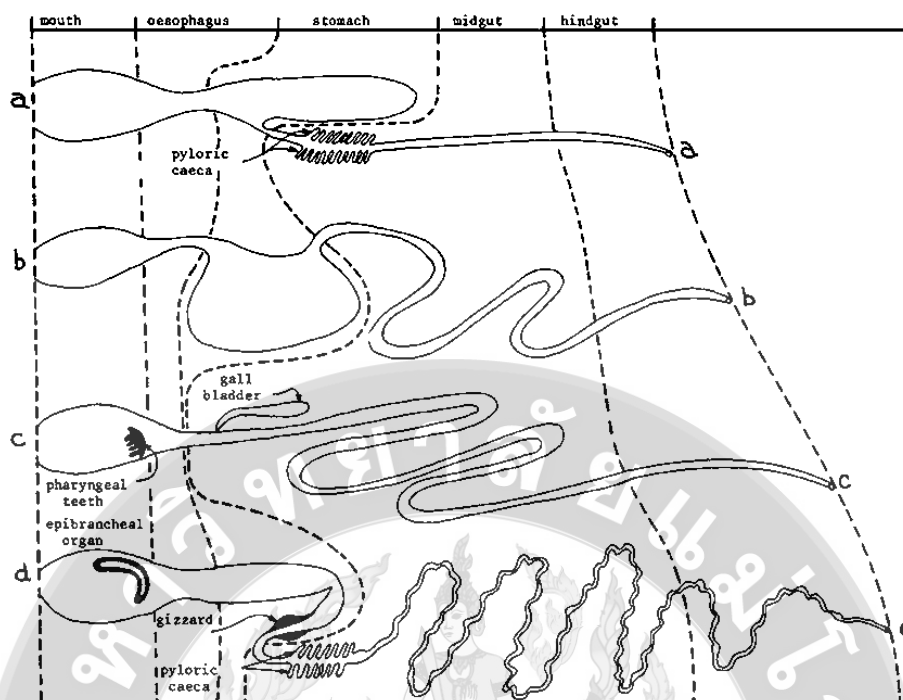
อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ของปลา

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

ตาราง 1 อวัยวะที่ผลิตเอนไซม์ย่อยอาหารของปลา

เอนไซม์ย่อยอาหารของปลาที่ผลิตจากอวัยวะต่างๆ		
กระเพาะอาหาร	ลำไส้	ตับอ่อน
เอนไซม์เปปซินโนเจน	เอนเทอร์โรไคเนส	ทริปซินโนเจน
กรดไฮโดรคลอริก	อะมิโนเปปติเดส	โคโมทริปซินโนเจน
เอสเทอเรส	ไดเปปติเดส	ไลเปส
คาร์โบไฮเดรต	ไตรเปปติเดส	อะไมเลส
ไคตินเนส	ไลเปส	ไคตินเนส
	เลซิดินเนส	
	อะไมเลส	
	กลูโคซิเดส	
	กาแลคโตซิเดส	
	ไคโตไบเอส	

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 และไทโรซีนจนได้โปรทริออส ซึ่งเป็นสายของกรดอะมิโนที่มีความยาวต่างกันก็จะถูกส่งไปย่อยต่อยังลำไส้ (Lovell, 1989)

เอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็ก มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยได้จากการคัดหลั่งของผนังลำไส้เล็ก และตับอ่อน เช่น เอนไซม์ทริปซินโนเจน และไโคโมทริปซินโนเจน ซึ่งจะย่อยโปรตีนได้ต้องถูกกระตุ้นจากเอนไซม์เอนเทอร์โรไคเนส จากลำไส้เล็ก โดยเปลี่ยนจากทริปซินโนเจนไปเป็นทริปซิน ส่วนไโคโมทริปซินโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไโคโมทริปซิน ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ (Lovell, 1989)

โดยทั่วไปค่า pH ของปลาจะมี pH อยู่ในช่วง 7-9 และขณะย่อยอาหาร จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่มีกรดไฮโดรคลอริกออกมา 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 ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตพวกแป้ง และไกลโคเจนให้เป็นโมโนแซคคาไรด์ มอลโตไดรอส 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 ของเอนไซม์ทริปซินที่สกัดจากไส้ติ่งของปลาแซลมอน *Salmon salar* L พบว่ามีบทบาท

สำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารในช่วงที่มีการเจริญเติบโต ส่วนเอนไซม์โคโมทรูปซินมีบทบาทสำคัญในช่วงอดอาหาร (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา *in vitro* digestibility จันทกานต์ (2550) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนส พบว่าเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนสสามารถย่อยเนื้อหอย *Corbicula* sp. ได้ดี เนื่องจากสัมพันธ์กับการที่หอยเป็นอาหารหลักของปลาสร้อย การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลา คือ สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ 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-Torrissen et al. (2002) มีการศึกษา โดยยุทธนา และ คณะ (2550) ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เซฟาโตเพนเครีซส กระเพาะและ ลำไส้ ของ กุ้งขาว กุ้งก้ามกราม และ กุ้งกุลาดำ ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กุ้งย่อยได้ดี คือ ปลาข้าว 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 จากผลการศึกษานี้จึงเป็นการคัดเลือกสูตรอาหารเพื่อใช้ในการทดลองเรื่องอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากัดวัยรุ่น

Perera et al. (2012) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของเอนไซม์ย่อยอาหารของล็อบสเตอร์ และ การศึกษาศักยภาพของการย่อยโปรตีนโดยดูรูปแบบการย่อยของเอนไซม์ทริปซิน 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 ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีนที่ตรวจสอบพบ และ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเอนไซม์อะไมเลส การวิเคราะห์ โดยใช้ SDS-PAGE พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการย่อยโปรตีน ระหว่าง เอนไซม์หลายชนิดกับเอนไซม์เปปซิน จากการทดลองนี้ พบว่า การย่อยโปรตีนในข้าวญี่ปุ่นมีสูงกว่าข้าวอินเดียน ซึ่งการทดลองนี้เป็นการทดลองที่สนับสนุนว่า ยีนที่สร้างสารเคลือบไม่ได้เป็นยีนที่ใช้ในการย่อยโปรตีนในปลายข้าว

Cousin et al. (1996) ได้ทำการศึกษาลักษณะการย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และ ไขมัน ของ กุ้งขาวขนาด 18-25 กรัม ที่ให้อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน 8 แหล่ง คือ แป้งข้าวโพดท้องถิ่น แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วในท้องถิ่น แป้งเคลือบแว็กซ์ แป้งข้าวโพดจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่ย่อยแล้วจากแหล่งอื่น แป้งข้าวโพดที่มีอะไมเลสสูง แป้งมันฝรั่ง แป้งมันฝรั่งจากแหล่งอื่น แป้งมันฝรั่งที่ย่อยแล้ว และแป้งสาลีท้องถิ่น ใช้ตัวตรวจวัดเป็นโครมิกอกไกไซด์ 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 โดยเปรียบเทียบการชะงักของตัวตรวจวัดในวัตถุดิบอาหารและความชื้นที่เหมาะสมที่ใช้ โดยใช้ La_2O_3 เป็นตัวจับอาหาร และมีตัวตรวจวัดสองตัว คือ Y_2O_3 และ Cr_2O_3 ผลการทดลองพบว่า การชะงักที่น้อยที่สุด คือ ใช้ อัลจิเนต 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 กากถั่วเหลือง และ กากข้าวสาลี เป็นแหล่งของโปรตีน และ คาร์โบไฮเดรต ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ โปรตีนข้าวโพด กากถั่วเหลืองไม่มีไขมัน ดอกทานตะวันไม่มีไขมัน ถั่ว lupin กระเทาะเปลือก เมล็ดของคันทรี 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 โดยทำการเลี้ยงในปลาที่อด พบว่า โปรตีนรวมจากพืชสามารถใช้ทดแทนปลาป่นได้สูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้ปลาป่น

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

ค่าโปรตีนรวมในพืชมีสูงกว่าในสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาเรื่องกิจกรรมการทำงานของ เอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส และ ลิเปส พบว่า เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรท และ ลิเปส มีค่ากิจกรรมการทำงานในพืชสูงกว่าในสัตว์

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

Terrazas-Fierro et al. (2010) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีน และ กรดอะมิโน ของวัตถุดิบอาหาร ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการเลี้ยงกึ่ง ทำการศึกษาในวัตถุดิบที่มาจากทะเล 9 ชนิด คือ ปลาป่น จาก 4 แหล่ง น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น ปูป่น และ หอยเชลป่น โดยวัดค่าโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น ในการเลี้ยงกุ้งขาว และ ใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ โครมิดออกไซด์ เป็นตัวติดตามตรวจสอบ โดยใช้วัตถุดิบอาหารดังกล่าว 30 เปอร์เซ็นต์ และใช้องค์ประกอบอื่น ๆ 70 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุดิบแห้ง และการย่อยโปรตีน มีค่าแตกต่างกันมาก โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยโปรตีนของ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น และ หัวกุ้งป่น มีค่าดีที่สุด (มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยกรดอะมิโนก็มีความแปรปรวนเช่นกัน แต่สามารถสรุปได้ว่า วัตถุดิบอาหารที่ควรนำมาใช้ในสูตรอาหารเลี้ยงกึ่ง คือ น้ำปลาเข้มข้น หมึกป่น หัวกุ้งป่น หอยเชลป่น และ ปลาป่นชนิด A

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

Overland et al. (2009) ได้ทำการศึกษา การแทนที่ปลาป่นด้วยโปรตีนจากถั่ว 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 ไม่มีความแตกต่างกับสูตรอาหารที่ใช้ปลาป่น ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า สูตรอาหารจากพืช 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้เลี้ยงปลาแซลมอนและให้ผลการเจริญเติบโตเหมือนกับสูตรอาหารที่มีปลาป่นเป็นองค์ประกอบ



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 ถังมือยาง
- 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 ขณะที่ทำการทดลอง และ บดส่วนของอวัยวะย่อยอาหารทำในอ่างน้ำแข็งตลอดเวลา (ภาพ 8)



ภาพ 8 การบดอวัยวะย่อยอาหารด้วยเครื่อง homogenizer

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



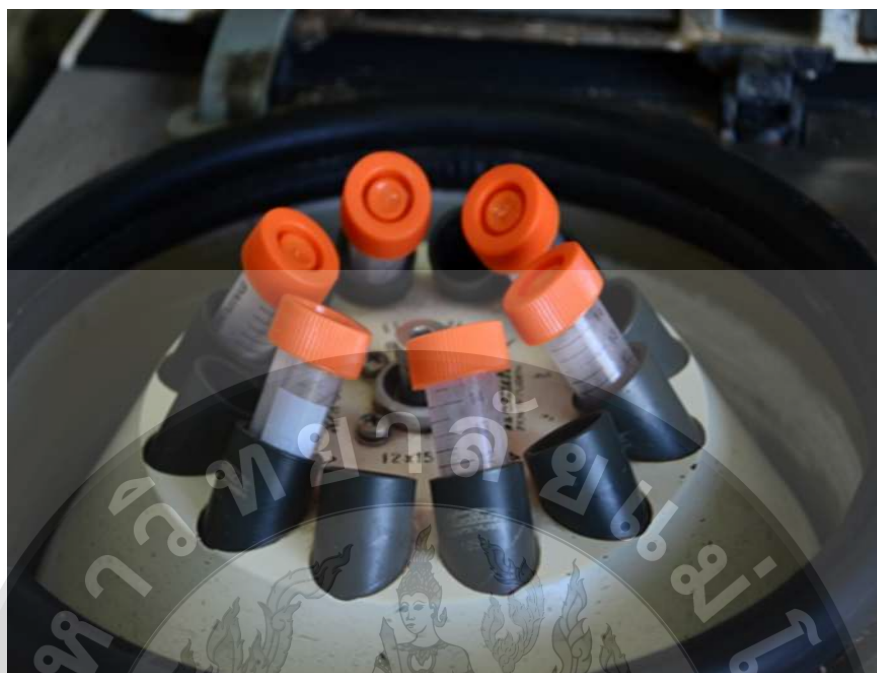
ภาพ 9 Crude enzyme ที่ได้จากอวัยวะย่อยอาหาร

2.3 การทำให้เอนไซม์ย่อยอาหารบริสุทธิ์ ด้วยวิธี dialysis

สวมถุงมืออย่างในการปฏิบัติงาน ตัดถุงเมมเบรนยี่ห้อ Cellucep 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 สาหร่ายสไปรูulina
- 1.3 ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์)
- 1.4 ไบโกระถินป่น
- 1.5 ถั่วเขียว
- 1.6 รำข้าว
- 1.7 บริเวอรี่สต์
- 1.8 เมล็ดดอกทานตะวัน
- 1.9 ถั่วลิสง
- 1.10 ถั่วดำ
- 1.11 สาหร่ายไส้ไก่
- 1.12 ถั่วแดงหลวง
- 1.13 กากถั่วเหลือง

1.14 มวลสุกที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ

1.15 ปลายข้าว

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 ปีกเกอร์ขนาด 1000 ml

2.9 ปีกเกอร์ขนาด 500 ml

2.10 ปีกเกอร์ขนาด 200 ml

2.11 Auto pipette 1 ml

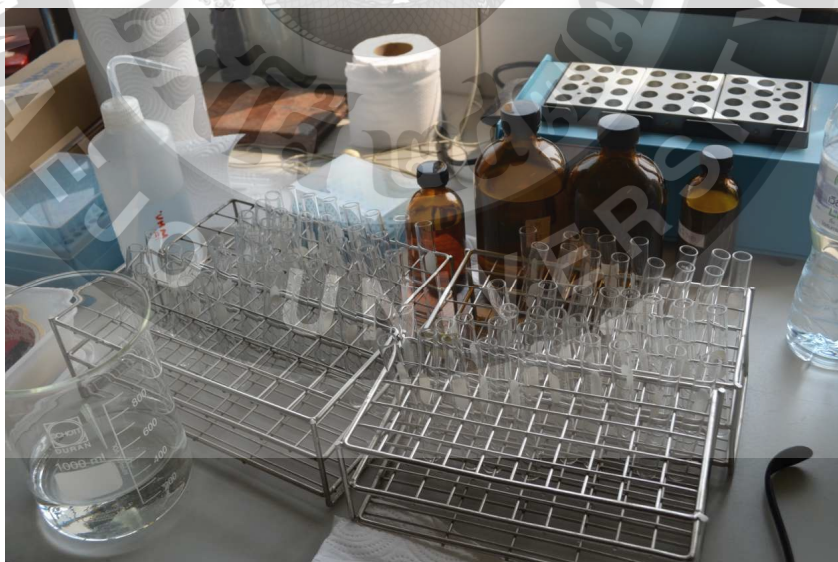
2.12 Auto pipette 0.1 ml

วิธีการ

นำวัตถุดิบอาหารทั้ง 15 ชนิดมาบดให้ละเอียด ด้วยเครื่องบดแบบไฟฟ้า ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 mesh เก็บเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรงได้เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอน *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 μ l ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บเฉพาะ ส่วนใส่นำสารละลายที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง 1.5 ml ผสมกับเอนไซม์ 250 μ l 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 ต้มในน้ำเดือด 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 เติมสารละลาย 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 เติมสารละลาย 1M HCl ปริมาตร 1 ml วัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เตรียมกราฟมาตรฐาน โดยใช้ DL-Alanine



ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย 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)

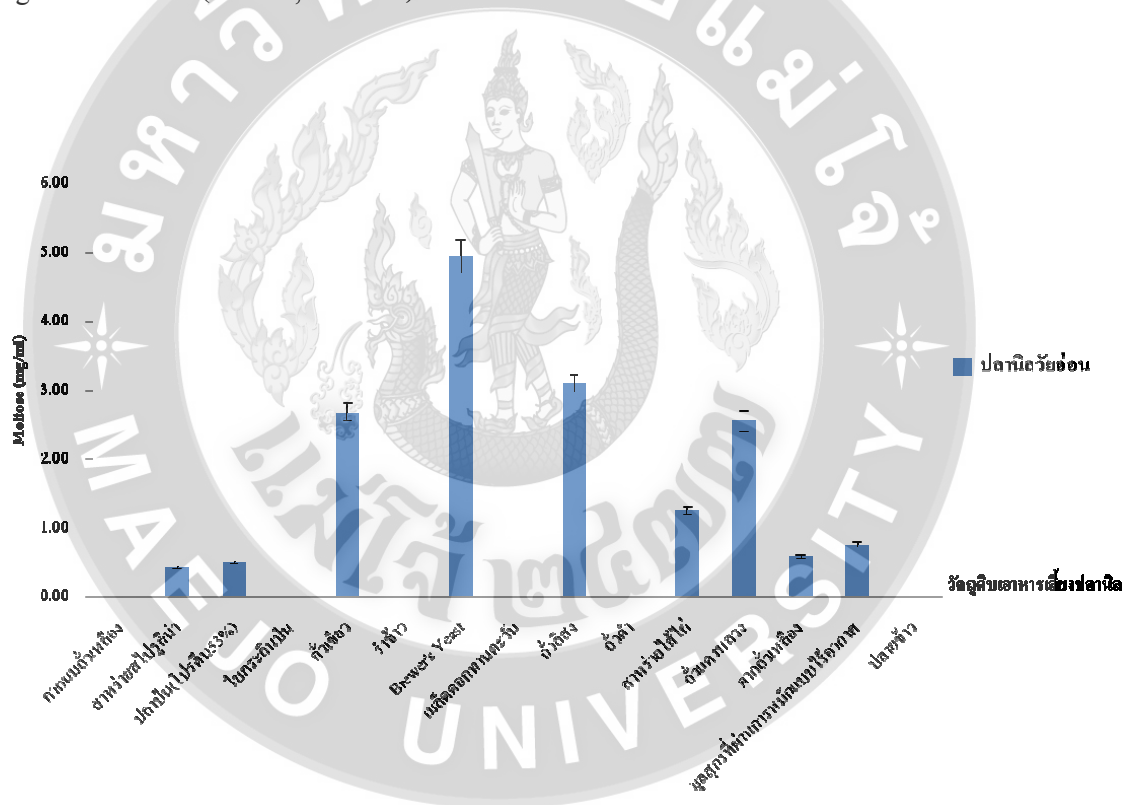
ตาราง 2 แผนการวัดเอนไซม์ย่อยอาหารในการทดลอง

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

การย่อยคาร์โบไฮเดรต

เอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน

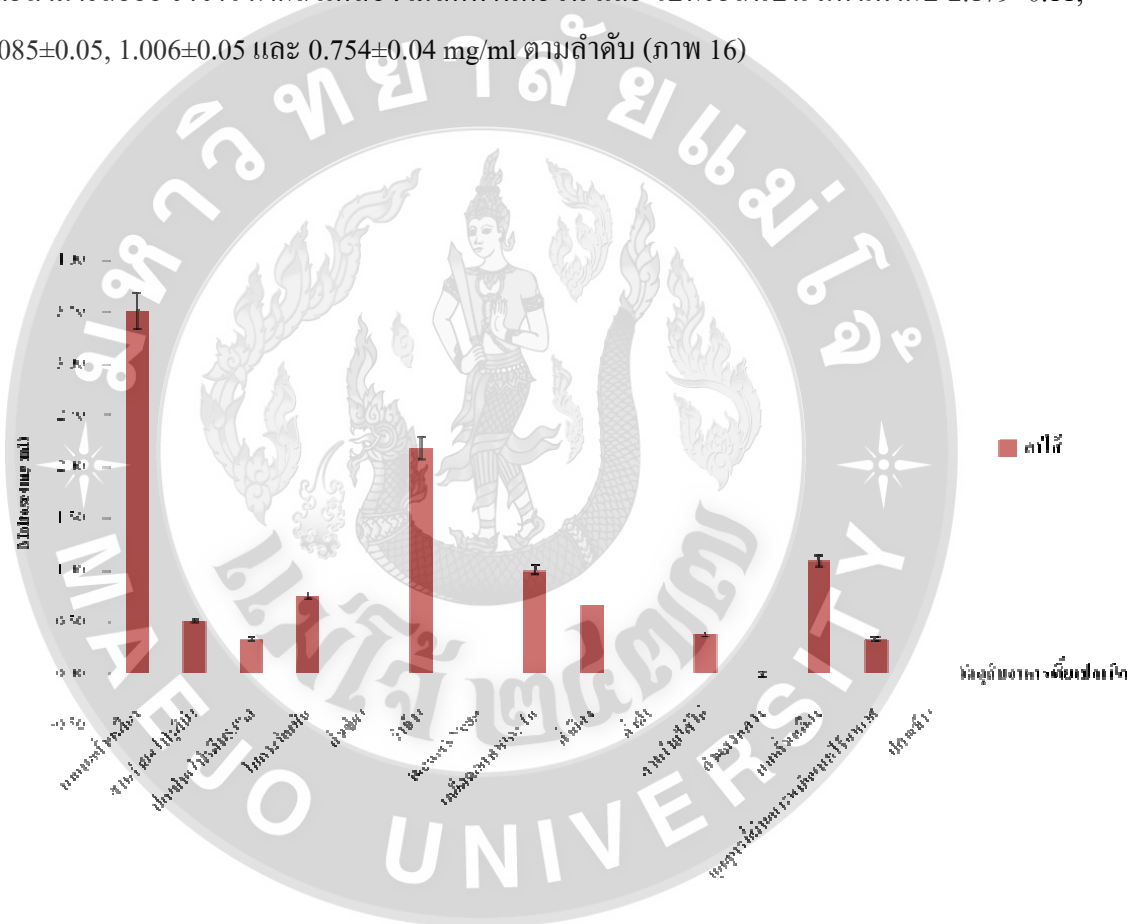
การย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาช่อน 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 สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาช่อน 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)

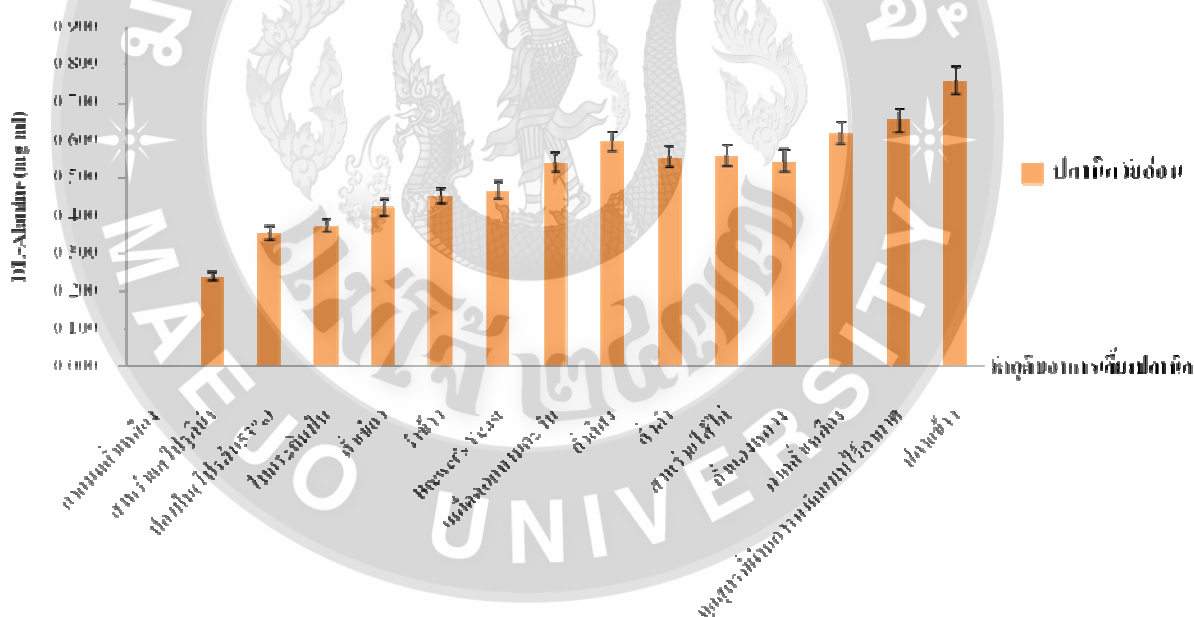


ภาพ 16 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย

การย่อยโปรตีน

เอนไซม์จากปลานิลวัยอ่อน

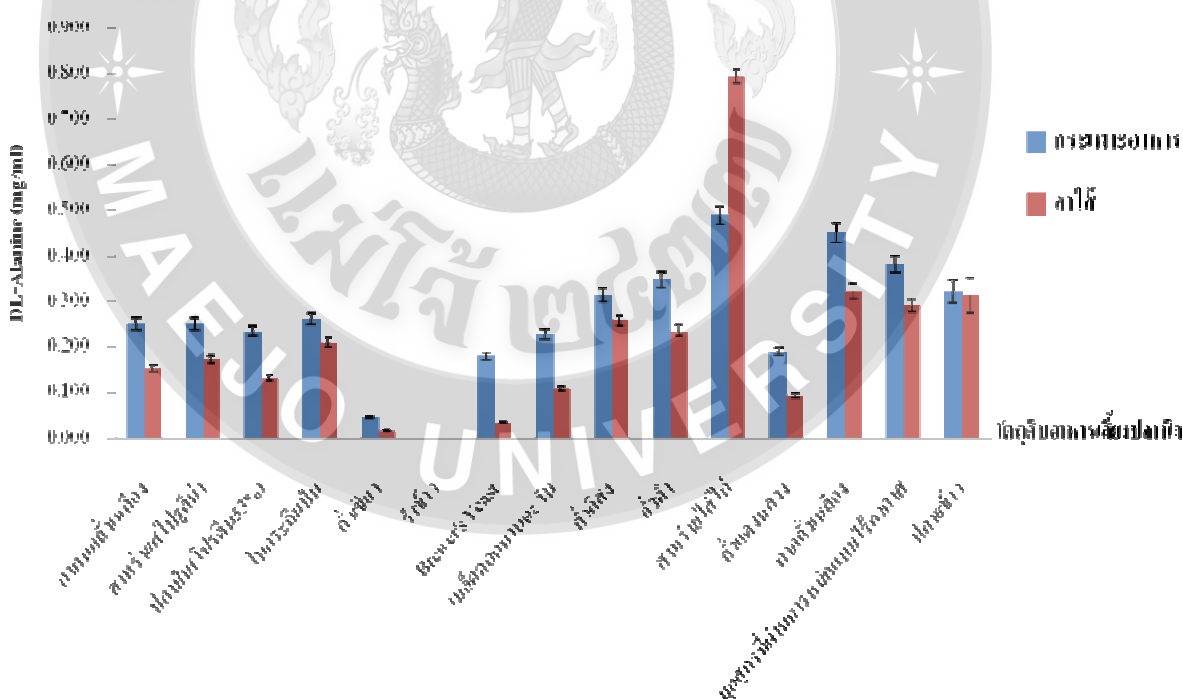
การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซ็นต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว 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 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน

เอนไซม์จากปลานิลเต็มวัย

การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย ในวัตถุดิบอาหารจำนวน 15 ชนิด คือ กากถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลินา ปลาป่น (CP53 เปอร์เซนต์) ใบกระถินป่น ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลาขี้ขาว ผลการทดลอง พบว่า 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 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลตัวเต็มวัย

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
สาหร่ายสไปรูลีนา	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 ำข้าว กากถั่วเหลืองตามลำดับ และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายไส้ไก่ รองลงมาเป็น กากถั่วเหลือง และ ถั่วลิสงเป็นลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า สามารถแยกวัตถุดิบอาหารเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นวัตถุดิบอาหาร และ กลุ่มวัตถุดิบเสริมในท้องถิ่น และ พบว่า วัตถุดิบเสริมในท้องถิ่นที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลองนี้ คือ ถั่วลิสง เพราะ ผลการทดลองที่ได้มีความสามารถในการย่อยโดยเอนไซม์ย่อยอาหารปลานิลวัยอ่อน 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 สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ และ ปลายข้าว ด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน และ เติมน้ำ ผลการทดลอง พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อน สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในบริเวอร์ยีสต์ได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในปลายข้าวได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากไส้ปลาเต็มน้ำ พบว่าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในกากนมถั่วเหลืองได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด ส่วนเอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด

สอดคล้องกับงานวิจัยของยุทธนา และ คณะ, 2550 ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหารของเอนไซม์ที่มาจาก เฮฟาโตแพนแครีส กระเพาะและ ลำไส้ ของกึ่งขาว กึ่งก้ามกราม และ กึ่งกุลด้า ในการย่อยวัตถุดิบอาหาร จำนวน 12 ชนิด พบว่า วัตถุดิบอาหารที่กึ่งย่อยได้ดี คือ ปลายข้าว 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 ซึ่งการศึกษานี้จะตรวจสอบความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต 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 มีค่าการย่อยสูงที่สุด ในขณะที่กระดุกป่นในค่าการย่อยต่ำที่สุด ผลโดยรวมทั้งหมด พบว่า ค่าโปรตีนรวมในพืชมีสูงกว่าในสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการศึกษาเรื่องกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ โปรติเอส อะไมเลส เซลลูเลส และ ลิเปส พบว่า เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรท และ ลิเปส มีค่ากิจกรรมการทำงานในพืชสูงกว่าในสัตว์

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

ด้านการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์ย่อยอาหาร พบว่า การศึกษา *in vitro* digestibility จันทกานต์ (2550) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนส พบว่าเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนสสามารถย่อยเนื้อหอย *Corbicula* sp. ได้ดี เนื่องจากสัมพันธ์กับการที่หอยเป็นอาหารหลักของปลาสาวยหนู การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลา คือ สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ 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

เมื่อนำไปทดลองเลี้ยงจริงพบว่าสูตรอาหารที่มีกากถั่วเหลืองมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการย่อยดีขึ้น (Divakaran et al., 2000) ส่วนการศึกษา isozymes ของเอนไซม์ทริปซินที่สกัดจากไส้ติ่งของปลาแซลมอน *Salmo salar* L พบว่ามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารในช่วงที่มีการเจริญเติบโต ส่วนเอนไซม์ไลโซทริปซินมีบทบาทสำคัญในช่วงอดอาหาร (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 มีน้ำหนักสุดท้ายที่สูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่าใกล้เคียงกันในสูตรอาหารที่มีปลาป่น 22 และ 11 เปอร์เซ็นต์ แต่มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก ($r^2 = 0.67$) ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลดปริมาณของปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลานิล และสามารถใช้แหล่งโปรตีนจากพืชในท้องถิ่นมาปรับปรุงสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล

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% ที่ระดับน้ำระดับน้ำ 35% ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยในการทดลองทั้งสองชุด คือ ชุดที่เป็นอาหารที่ขายในท้องตลาด และ อาหารจม พบว่า มีความแตกต่างกันคือ ชุดของอาหารจมนี้น้อยกว่า ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า อาหารจมนี้น่าจะเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาแซลมอนมากกว่า

Perera et al. (2010) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยโปรตีนในหลอดทดลองของเอนไซม์ย่อยอาหารของลึอบสเตอร์ และ การศึกษาสัณยภาพของการย่อยโปรตีนโดยดูรูปแบบการย่อยของเอนไซม์ทริปซิน 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 และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กาดทดลองที่สองได้ทำการหาขนาดของโปรตีนที่

ย่อยจากเอนไซม์ย่อยอาหารของลึอบสเตอร์ในวัตถุดิบอาหาร พบว่า ทั้งสามรูปแบบของเอนไซม์ย่อยอาหารไม่มีความแตกต่างกันในวัตถุดิบแต่ละตัว

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

สรุปผลการวิจัย

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

ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่า เอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด ที่สุด รองลงมา คือ กากถั่วเหลือง และ มูลสุกรที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศ ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัย พบว่า ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต พบสูงสุดในกากถั่วเหลือง รองลงมาเป็น ไร่ข้าว 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

บรรณานุกรม

- กรมประมง. 2554. การเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://gms.oae.go.th/Z_Show.asp?ArticleID=198 (15 ตุลาคม 2553).
- กองวัตถุดิบอาหารสัตว์. 2553. วัตถุดิบอาหารสัตว์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feed_stuff/nutrition.htm (15 ตุลาคม 2553).
- จรรยาโรจน์ จันทศิริ เทวา ฉวีรัมย์ สุชุม สุขเกษม วีระพงษ์ อุดรไสว และ ชัยกระมล คำเมือง 2552. การผลิตกระถินป่นส่งจำหน่ายโรงงานอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.gotoknow.org/blogs/posts/243003> (15 ตุลาคม 2553).
- จันทกานต์ นุชสุข. 2550. การพัฒนาสูตรอาหารโดยใช้เทคโนโลยีทางเอนไซม์ย่อยอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงปลาสาวยหนู *Helicophagus leptorhynchus* Ng & Kottelat. 2000. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 146 น.
- เจษฎา อีสหะ. 2549. อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://courseware.rmutl.ac.th/courses/108/unit000.html> (15 ตุลาคม 2553).
- นิวุฒิ หวังชัย. 2549. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 226 หน้า.
- พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุทธนา เอียดน้อย อรุณี อิงคกุล อุทัยวรรณ โกวิทวที 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 acclimation 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 extract 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.





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

[illegible]

