การเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และ การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

อรอนงค์ ทับทิม

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

การเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และ การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

อรอนงค์ ทับทิม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และ การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร
ในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

อรอนงค์ ทับทิม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารชาต์ เทียมเมือง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และ การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

ชื่อผู้เขียน นางสาวอรอนงค์ ทับทิม

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ แบ่งชุดทดลองเป็น อาหารควบคุม (OP0) อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ (OP1), 2 เปอร์เซ็นต์ (OP2) และ 4 เปอร์เซ็นต์ (OP4) วางแผนทดลองแบบ CRD มี 4 ชุดทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ ให้อาหารปลา 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เลี้ยงระยะเวลา 60 วัน ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility พบว่า การย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 4 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี ก่อนและหลังการทดลอง ตามลำดับ และการย่อยโปรตีนในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ได้ดีทั้งก่อนและหลังการทดลอง การทำงานของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอสในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมการทำงานดีที่สุด การทำงานของเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 2 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมการทำงานดีที่สุด การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ดีที่สุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดีที่สุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่อัตารอด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันได้ดี สรุปได้ว่า การใช้เปลือกหอมหัวใหญ่ผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล 1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอส ส่งผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกัน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการ

นำมาใช้เลี้ยงปลานิล หรือสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

คำสำคัญ : ปลานิล, เปลือกหอมหัวใหญ่, การเจริญเติบโต, ภูมิคุ้มกัน, เอนไซม์

Title THE GROWTH, IMMUNE SYSTEM, AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) FED WITH ONION (*Allium cepa* LINN.) PEEL ADDITIVE DIET

Author Miss Ornanong Thabthim

Degree Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Sudaporn Tongsiri

ABSTRACT

The growth, immune system, and digestive enzyme activity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with onion (*Allium cepa* linn.) Peel additive diet. The experiments were control (feed without OP), onion peel 1% (OP1), onion peel 2% (OP2), and onion peel 4% (OP4). The Completely Randomized Design (CRD) was applied with 4 treatments and 4 replications in each treatment. Fish were fed for 4 percent of body weight and cultured for 60 days. According to the *In vitro* digestibility, the best ability to digest carbohydrates was observed in feeds containing 4% and 0% onion peels, before and after the experiment, respectively. The best ability to digest protein in feed containing 1% onion peel, both before and after the experiment. The activity of the amylase enzyme and protease enzyme of tilapia fed 1% onion peel supplementary feed were the best. Trypsin and chymotrypsin enzyme activities of tilapia fed 2% onion peel supplementary feed were the best. 1% and 2% onion peel containing feeds were the highest in weight gain, average daily weight gain, and specific growth rate significantly different ($p<0.05$). And 1% onion peel containing feed was the highest in feed conversion ratio, feed efficiency ratio, and food conversion efficiency significantly different ($p<0.05$). But there was not significantly different ($p>0.05$) in the survival rate. Immune responses of fish in 1% and 2% containing onion peel feeds were enhanced. The results from

this study demonstrated tilapia fed with 1% onion peel supplementary feed improved growth performance, ability to digest protein, amylase and protease enzyme digestibility, and had a positive effect on the innate immunity. This finding showed that onion peel which could be used as an alternative option for feed additive in tilapia culture in order to extension in by-product utilization.

Keywords : Tilapia, Onion peel, Growth performance, Immune system, Enzyme

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารชาต์ เทียมเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ให้ความเมตตากรุณา ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานตลอดจนช่วยสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานและให้คำแนะนำกับปัญหาอุปสรรคต่างๆ สำหรับวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ทั้งสละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งกานต์ กล้าหาญ สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผู้ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมารดา ที่ให้การเลี้ยงดู คำแนะนำ ส่งเสริม และสนับสนุนในการดำเนินชีวิต จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา

อรอนงค์ ทับทิม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญ 1

วัตถุประสงค์ 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

ขอบเขตการวิจัย 2

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 3

ชีววิทยาของปลานิล 3

ความสำคัญของโภชนาการอาหาร 6

อาหารสัตว์น้ำ 7

สารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการ 7

วัตถุดิบอาหารสัตว์ 9

หอมหัวใหญ่ 9

ความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารของสัตว์น้ำ 14

อวัยวะย่อยอาหารในสัตว์น้ำ 14

เอนไซม์ย่อยอาหารในสัตว์น้ำ 15

การย่อยอาหารในสัตว์น้ำ 17
ระบบภูมิคุ้มกัน 19
ต้นทุนและผลตอบแทน 21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 แนวทางการดำเนินการวิจัย 28
การศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของเปลือกหอมหัวใหญ่และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล 28
การศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ 28
การศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ก่อนการเริ่มทดลอง และ หลังสิ้นสุดการทดลอง 31
การศึกษาการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โปรติเอส ทริปซิน และ ไคโมทริปซิน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง 32
การศึกษาการสร้างภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 34
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 35
สถานที่ทำการวิจัย 36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 37
องค์ประกอบที่สำคัญของเปลือกหอมหัวใหญ่และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล 37
ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ก่อนการทดลอง 37
ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility หลังสิ้นสุดการทดลอง 39
การทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โปรติเอส ทริปซิน และไคโมทริปซิน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 42
การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ 45
การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 48
ต้นทุนผลิตอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 50

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 53
สรุปผลการศึกษา 53
ข้อเสนอแนะ 54
บรรณานุกรม 55
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ 64
ประวัติผู้วิจัย 72

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 11
ตารางที่ 2 ปริมาณวิตามินของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 12
ตารางที่ 3 ปริมาณแร่ธาตุของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 12
ตารางที่ 4 ปริมาณไขมันของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 13
ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้) 13
ตารางที่ 6 อวัยวะผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร 14
ตารางที่ 7 วัตถุดิบและสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล 29
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์โภชนาการของเปลือกหอมหัวใหญ่ที่ใช้ในการผสมอาหารเลี้ยงปลานิล 37
ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 47
ตารางที่ 11 ราคาต้นทุนของอาหารปลานิลที่ผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ (บาทต่อกิโลกรัม) 50

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปลานิล 3

ภาพที่ 2 ความต้องการสารอาหารของปลา 7

ภาพที่ 3 หอมหัวใหญ่ 10

ภาพที่ 4 แสดงความสำคัญของทริปซินที่มีผลต่อการเจริญของสัตว์น้ำ 17

ภาพที่ 5 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์ย่อยอาหาร จากลำไส้ของปลานิลใน อาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ก่อนเริ่มการทดลอง 38

ภาพที่ 6 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของเอนไซม์ย่อยอาหาร จากลำไส้ของปลานิลในอาหาร 4 ชุดการทดลอง ก่อนเริ่มการทดลอง 38

ภาพที่ 7 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์ย่อยอาหาร จากลำไส้ของปลานิลใน อาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลอง 39

ภาพที่ 8 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของเอนไซม์ย่อยอาหาร จากลำไส้ของปลานิลในอาหาร 4 ชุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลอง 40

ภาพที่ 9 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือก หอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง 42

ภาพที่ 10 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือก หอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง 43

ภาพที่ 11 กิจกรรมการทำงานของทริปซินของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง 43

ภาพที่ 12 กิจกรรมการทำงานของไคโมทริปซินของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง 44

ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนวัตถุดิบอาหารปลานิลที่ผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 51

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันต้นทุนวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่าขนส่งและแรงงาน จึงทำให้ราคาอาหารสัตว์ในท้องตลาดมีต้นทุนการผลิตสูง หน่วยงานและบุคลากรภาครัฐที่เกี่ยวข้องหลายๆ ฝ่าย ได้คิดค้น พัฒนา และวิจัยวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อลดต้นทุนการผลิตอาหารให้ลดลง แต่ยังคงคุณค่าทางโภชนาการสูงตามเกณฑ์คุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ การหาวัตถุดิบราคาถูกเพื่อนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารที่ราคาสูงขึ้น จึงเป็นงานวิจัยที่ท้าทายและมีการศึกษาเรื่องนี้เพิ่มมากขึ้น (ชนากาญจน์ และคณะ, 2558)

ปลานิล เป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันมากทั้งในรูปแบบการค้าและเลี้ยงไว้บริโภคภายในครัวเรือน เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้เกือบทุกชนิด เนื้อรสชาติดี ในตลาดจึงมีความต้องการสูง ราคาที่จำหน่ายค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปลาชนิดอื่นๆ ได้แก่ ปลาตะเพียนขาว ปลาสวาย ฯลฯ ดังนั้นการเลี้ยงปลานิลเพื่อผลิตจำหน่าย จึงมีความจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงในด้านอาหารปลาที่จะนำมาใช้เลี้ยงเป็นหลัก กล่าวคือ ต้องเป็นวัตถุดิบอาหารที่หาได้ง่าย ราคาต่ำ เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากที่สุด (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำอุตรดิตถ์, 2562) การเลี้ยงปลานิลยังพบว่าต้นทุนค่าอาหารเป็นเรื่องที่มีผลกระทบต่อการผลิตปลานิลเป็นอย่างมาก เพราะว่าต้นทุนการเลี้ยงปลานิลมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ มาจากอาหาร จึงทำให้มีการศึกษาการผลิตอาหารปลานิลโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ เพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงของเกษตรกร (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

รัฐบาลภายใต้การนำของ พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา อดีตนายกรัฐมนตรีได้ประกาศให้การขับเคลื่อนประเทศด้วย BCG โมเดลเศรษฐกิจใหม่ หรือ Bio-Circular-Green Economy เป็นวาระแห่งชาติ และสั่งการให้ทุกหน่วยงานเร่งทำงานร่วมกัน โดยมุ่งบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทางของการผลิตในแต่ละสาขา เพื่อสร้างคุณค่าจากฐานความหลากหลายของทรัพยากรชีวภาพของประเทศไทย การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เช่น การนำเปลือกหอมหัวใหญ่มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลานิล เนื่องจากหอมหัวใหญ่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตภาคเหนือเป็นส่วนใหญ่ หอมหัวใหญ่ มีคุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพ มีสารพฤกษเคมีมากมายหลากหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และฟลาโวนอล (นิธิยา และดนัย, 2562) ผู้วิจัยมีแนวทางที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ ซึ่งอาจทำให้ปลานิลนำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลานิลเพิ่มมากขึ้น เพิ่มผลผลิตในการเพาะเลี้ยงสูงขึ้นได้ และจากแนวทางนี้

ผู้วิจัยจึงนำเปลือกหอมหัวใหญ่เสริมลงในอาหารในสัดส่วนต่างๆ และศึกษาการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล รวมทั้งต้นทุนการผลิตอาหาร โดยมุ่งหวังว่าจะเป็นการพัฒนาสูตรอาหารเพื่อทำให้ผลผลิตในเชิงพาณิชย์ของปลานิลเพิ่มมากขึ้นในท้องตลาด และเป็นการตอบโจทย์ให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาสามารถลดต้นทุนค่าอาหารปลาได้อีกแนวทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน ประสิทธิภาพการย่อย และ การทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน
2. การเปรียบเทียบต้นทุนอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลการเจริญเติบโต การทำงานของภูมิคุ้มกัน ประสิทธิภาพการย่อย และการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน
2. ทราบต้นทุนการผลิตอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกัน ประสิทธิภาพการย่อย และเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิล ที่เลี้ยงโดยใช้อาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และ เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ที่สัดส่วนแตกต่างกัน

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ชีววิทยาของปลานิล

ประวัติและความเป็นมา

ปลานิล *Oreochromis niloticus* (Linn). จัดอยู่ในวงศ์ Cichlidae ซึ่งจัดอยู่ในสกุล *Oreochromis* spp. มีชื่อสามัญ Nile tilapia อนุกรมวิธานของปลานิลถูกจัดอันดับทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้

Kingdom Animalia
Phylum Vertebrata
Subphylum Vertebrara
Superclass Gnathosmata
Class Actinopterygii
Order Perciformes
Suborder Labbroidei
Family Cichlidae
Genus *Oreochromis*
Species *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)

ภาพที่ 1 ปลานิล

รูปร่างลักษณะทั่วไป

มีลักษณะคล้ายปลาหมอเทศ มีริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน มีฟันบริเวณขากรรไกรและคอหอยที่มีหลายขนาด ตั้งแต่ค่อนข้างหยาบจนถึงละเอียด กระดูกเหงือก มีซี่กรอง จำนวน 15-27 อัน แก้มเกล็ดมีทั้งหมด 4 แถว โดยมีเกล็ด 3 แถวแรกอยู่บริเวณแก้มและอีกแถวอยู่เหนือเส้นข้างลำตัวไปเล็กน้อย ลำตัวสีน้ำตาลมีลายพาดขวาง จำนวน 9-10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหาง มีจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวาง ครีบหลังตอนเดียว ก้านครีบก้น 13 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนสีน้ำตาลตรงกลางมีเกล็ดสีเข้มที่กระดูกแก้มมีจุดสีเข้ม 1 จุด (ภาพที่ 1) (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

คุณสมบัติและนิสัย

ปลานิลอยู่รวมกันเป็นฝูง (ยกเว้นเวลาที่จะสืบพันธุ์) มีความอดทน ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพันส่วน สามารถทนความเป็นกรด-ด่างได้ดีในช่วง 6.5-8.5 และทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ที่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส จะมีการปรับตัวและการเจริญเติบโตได้ไม่ดี เนื่องจากถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในเขตร้อน (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

ความแตกต่างระหว่างเพศ

รูปร่างลักษณะภายนอกของตัวผู้และตัวเมียจะมีลักษณะคล้ายกัน จะแตกต่างกัน เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ จำแนกความแตกต่างของตัวผู้และตัวเมียที่อวัยวะ ตัวผู้มีอวัยวะเพศหรือติ่งเพศ ลักษณะเรียวยาวค่อนข้างแหลม มีรูเปิด 2 รู คือ รูก้น และรูเปิดรวมของน้ำอสุจิและท่อปัสสาวะ สีของตัวปลาเข้มสดใส แถบขวางข้างลำตัวเห็นจะไม่ชัดเจน ครีบมีสีชมพูเข้มออกแดงและใต้คางมีสีแดง ส่วนตัวเมียอวัยวะเพศมีลักษณะเป็นรูค่อนข้างใหญ่และกลม มีรูเปิด 3 รู คือ รูก้น รูนำไข่ และรูท่อปัสสาวะ ช่องเปิดเป็นขีดขวางตรงกลางของอวัยวะเพศ สีของตัวปลาจะซีดกว่าตัวผู้ มองเห็นแถบขวางข้างลำตัวได้ชัดเจน ใต้คางมีสีเหลือง และขนาดตัวจะเล็กกว่าปลาตัวผู้ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553) ปลาตัวผู้จะมีทำหน้าที่ขับถ่ายปัสสาวะและน้ำเชื้อ ส่วนปลาตัวเมียจะมีอวัยวะเพศยื่นยาวออกมาสั้นกว่าและใหญ่กว่าตัวผู้ มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตรขึ้นไป อวัยวะจะมีช่องเปิด 2 ช่อง ช่องแรกอยู่ตรงส่วนปลายทำหน้าที่ขับปัสสาวะ อีกช่องอยู่ถัดไปทางส่วนหน้าตรงบริเวณกลางมีขนาดใหญ่ซึ่งมีสีชมพูหรือสีเนื้อ ทำหน้าที่เป็นช่องปล่อยไข่ ข้อแตกต่างระหว่างปลาตัวผู้และตัวเมีย คือ สีบนลำตัวและใต้คางของตัวผู้จะมีสีเข้มกว่าปลาตัวเมียโดยเฉพาะในฤดูที่จะผสมพันธุ์ (อุทัยรัตน์, 2538)

ชีววิทยาการสืบพันธุ์

ระบบสืบพันธุ์ของปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม ปลานิลที่อายุประมาณ 4 เดือน ความยาวประมาณ 11 เซนติเมตร จะมีรังไข่และพร้อมจะวางไข่ แต่อายุที่พร้อมเจริญพันธุ์ประมาณ 6 เดือน ปลานิลสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ตลอดทั้งปี การวางไข่แต่ละครั้งจะห่างกันประมาณ 2-3 เดือน แต่ถ้าอาหารเพียงพอต่อความต้องการสามารถผสมได้ 5-6 ครั้ง ภายใน 1 ปี อาจขึ้นอยู่กับขนาด อายุ และช่วงของการสืบพันธุ์ ซึ่งแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมและสรีรวิทยาของปลา ปลานิลจะอาศัยรวมกันเป็นฝูง แต่หลังจากที่ปลานิลมีขนาดพอที่สามารถสืบพันธุ์ได้ ปลาเพศผู้จะแยกออกจะฝูงและเริ่มสร้างรัง โดยจะเลือกเอาบริเวณเชิงลาดหรือก้นบ่อมีความลึก 0.5-1 เมตร ทำจนมีรังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 เซนติเมตร ลึกประมาณ 3 เซนติเมตร ปลาเพศผู้พยายามจะไล่ปลาตัวอื่นให้ออกไปนอกรัศมีของรังประมาณ 2-3 เมตร เมื่อปลาเพศเมียว่ายน้ำอยู่ใกล้ๆ รัง ปลาเพศผู้จะแผ่ครีบหางและอ้าปากกว้างไว้ เมื่อเลือกปลาเพศเมียได้แล้วจะว่ายน้ำ

เคล้าคู่กัน ใช้หางดีดและกัดเบาๆ ปลาเพศผู้ก็จะใช้บริเวณหน้าผากดุนที่ใต้ท้องของเพศเมียเพื่อกระตุ้นเร่งให้เพศเมียวางไข่ เมื่อปลาเพศเมียวางไข่เสร็จ ปลาเพศผู้จะว่ายไปเหนือไข่แล้วปล่อยน้ำเชื้อลงไปจนกว่าการผสมพันธุ์เสร็จสิ้น ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นปลาเพศเมียจะเก็บไข่ที่ได้รับการผสมแล้วอมไว้ในปาก และว่ายออกจากรัง หลังจากนั้น ไข่ที่อมไว้ในปากปลาตัวเมียจะพัฒนาขึ้นตามลำดับ แม่ปลาจะขยับปากให้น้ำไหลเข้าออกในช่องปากอยู่เสมอ เพื่อให้ไข่ได้รับน้ำที่สะอาดและป้องกันศัตรูที่จะมากินไข่ ระยะเวลาในการฟักไข่ของปลาตัวเมียจะแตกต่างกันออกไปตามอุณหภูมิของน้ำ สำหรับน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ไข่จะฟักเป็นตัวภายในปากของแม่ปลาจะใช้เวลาประมาณ 7-8 วัน ซึ่งถุงอาหารจะยังไม่ยุบ และจะยุบเมื่อลูกปลามีอายุครบ 13-14 วัน ในช่วงที่ลูกปลาฟักออกเป็นตัวใหม่ๆ ลูกปลาวัยอ่อนจะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม โดยว่ายวนเวียนอยู่บริเวณหัวของแม่ปลาและเข้าไปหลบซ้อนอยู่ในปากเมื่อมีภัย เมื่อถุงอาหารยุบลูกปลาจะเริ่มกินอาหารจากพืชและไรน้ำขนาดเล็ก หลังจากนั้นประมาณ 3 สัปดาห์ ลูกปลาจะแยกออกจากฝูงหากินด้วยตัวเอง โดยลำพัง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553) ปลานิลจะเริ่มมีไข่และถุงน้ำเชื้อ เมื่อมีอายุประมาณ 110 วัน รังไข่และถุงน้ำเชื้อจะเริ่มก่อตัวจนแก่ ใช้ระยะเวลา 62 วัน ปลานิลมีรังไข่ 2 ฝัก ฝักไข่อ่อนมีรูปร่างทรงกระบอกยาวกลมสีครีม เมื่อฝักไข่แก่ขึ้นจะขยายขนาดใหญ่มากขึ้นมีสีเหลืองสด เม็ดไข่ที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร รังไข่แก่จะถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน แม่พันธุ์ปลาที่มีขนาดความยาว 11 เซนติเมตร ให้ไข่ประมาณ 142 ฟอง แม่พันธุ์ที่มีขนาดความยาว 13-17 เซนติเมตร ให้ไข่ประมาณ 64-655 ฟอง และแม่พันธุ์ปลาที่มีขนาดความยาว 27 เซนติเมตร ให้ไข่ประมาณ 1,440 ฟอง พ่อและแม่ปลานิลที่ให้ลูกมากที่สุดจะมีความยาวอยู่ระหว่าง 19.5-34.4 เซนติเมตร (อุทัยรัตน์, 2538)

การอนุบาลลูกปลานิล

บ่อดิน บ่อควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 200 ตารางเมตร น้ำลึกประมาณ 1 เมตร เตรียมบ่ออนุบาลให้เพียงพอ ควรเตรียมบ่อล่วงหน้า 1 สัปดาห์ก่อนอนุบาล ใช้อนุบาลลูกปลานิลขนาด 1-2 เซนติเมตร ได้ครั้งละประมาณ 50,000 ตัว มีการใช้ปุ๋ยเพาะอาหารธรรมชาติแล้วยังต้องให้อาหารสบทบ ได้แก่ รำละเอียด กากถั่ว วันละ 2 ครั้ง สังเกตอาหารธรรมชาติจากสีน้ำเป็นสีเขียวอ่อน หรือตรวจดูปริมาณไรน้ำ ถ้าน้อยไปควรเติมปุ๋ยคอก 5-6 สัปดาห์ ลูกปลามีขนาด 3-5 เซนติเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงเพาะเลี้ยง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

บ่อซีเมนต์ สามารถอนุบาลลูกปลาวัยอ่อนได้ตารางเมตรละ 300 ตัว ใช้เวลา 4-6 สัปดาห์ ให้ออกซิเจนช่วยและเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณครึ่งบ่อ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และให้อาหารสมทบ 3 เวลา ลูกปลาโตจนมีขนาด 3-5 เซนติเมตร (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

กระชังไนลอน ใช้กระชังไนลอนตาถี่ ขนาด 3x3x2 เมตร อนุบาลลูกปลา 10,000 ตัว โดยให้ไข่แดงสุกบดละเอียด ให้กิน 3-4 ครั้งต่อวัน หลังจากนั้นให้รำละเอียดผสมปลาป่นในอัตราส่วน 3:1 เวลา 4-5 สัปดาห์ ลูกปลาจะมีขนาด 2-3 เซนติเมตร (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

การเลี้ยงปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันมาก เพื่อการค้าและเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้ทุกชนิด เนื้อปลามีรสชาติที่ดี ท้องตลาดมีความต้องการสูง ราคาจำหน่ายค่อนข้างต่ำกว่าปลาชนิดอื่นๆ เช่น ปลาตะเพียนขาว ปลาสวาย ฯลฯ ดังนั้นการเลี้ยงปลานิลจึงจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงด้านอาหารปลาที่จะนำมาใช้เลี้ยงปลาเป็นหลัก จะต้องเป็นอาหารที่หาง่าย มีราคาต่ำ เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้น้อยที่สุด และต้องดูแลด้านการจัดการฟาร์มให้เหมาะสม เนื่องจากปลานิลออกลูกดก ถ้าบ่อมีความหนาแน่นมากเกินไปจะไม่เจริญเติบโต ดังนั้นการเลี้ยงที่ให้ได้ผลดีจำเป็นต้องปฏิบัติถูกต้องตามหลักวิชาการ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

บ่อดิน บ่อที่เลี้ยงควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีพื้นที่ 200 ตารางเมตรขึ้นไป อาหารที่ให้อาจให้เศษอาหารในครัวเรือน ปุ๋ยคอก อาหารสมทบ ที่หาได้ง่าย ได้แก่ แหน สาหร่าย พืชผัก อื่นๆ ก็สามารถผลิตให้เพียงพอในการบริโภคในครอบครัวได้ ส่วนการเลี้ยงทางการค้า ควรใช้ขนาดบ่อตั้งแต่ 0.5-3.0 ไร่ และการทยอยจับออกขายรายสัปดาห์หรือรายเดือน เพื่อให้ได้เงินทุนมาหมุนเวียนสำหรับค่าอาหารปลา ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

กระชัง เป็นการเลี้ยงโดยใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ เลี้ยงในกระชังแบบผูกติด โดยใช้ไม้ไผ่ปักลงในน้ำและผูกไม้ไผ่เสมอผิวน้ำในระดับ 1-2 เมตร เพื่อยึดไม้ไผ่ที่ปักลงให้แน่น ร้อยเชือกยึดบนและล่างให้ยึดกระชังดึงให้ตึงทั้ง 4 มุม เว้นระยะห่างระหว่างกระชังให้น้ำไหลผ่านสะดวก ใช้อวนไนลอนช่องตาตามขนาดปลาที่จะเลี้ยง และเลี้ยงในกระชังแบบลอย โดยไม่ใช้เสาปักยึด ด้านบนจะผูกติดทุ่นลอยน้ำ ด้านล่างใช้แท่งปูนซีเมนต์หรือก้อนหินถ่วง อัตราส่วนปลาที่เลี้ยงในกระชังจะเป็นแหล่งน้ำที่คุณภาพดีสามารถเลี้ยงปลานิลแบบหนาแน่น 40-100 ตัวต่อตารางเมตร และให้อาหารที่เหมาะสมโปรตีนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553)

ความสำคัญของโภชนาการอาหาร

อาหารสัตว์น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อช่วยให้ผลผลิตของสัตว์น้ำสูงขึ้น และเป็นปัจจัยพื้นฐานของการผลิต ซึ่งกล่าวได้ว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะประสบผลสำเร็จเพียงใดนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพ ปริมาณ และราคาของอาหารเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าได้แหล่งอาหารสัตว์น้ำที่คุณภาพดี มีปริมาณเพียงต่อความต้องการ และราคาของอาหารสัตว์น้ำไม่สูงมากมาใช้ในการผลิตอาหาร จะทำให้การเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นประสบผลสำเร็จ ในทางตรงกันข้ามหาก

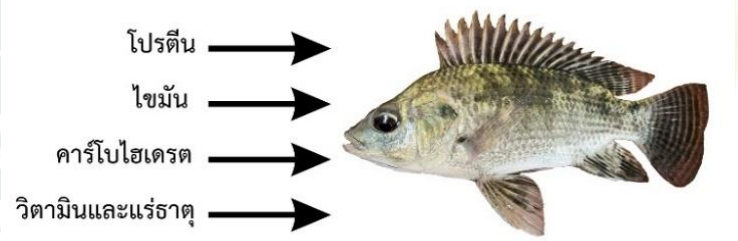
กระบวนการผลิตสัตว์น้ำนั้นมีแหล่งอาหารที่คุณภาพต่ำ ปริมาณของอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ และมีราคาแพง จะส่งผลให้การผลิตสัตว์น้ำไม่ประสบผลสำเร็จ (นิวุฒิ, 2549)

อาหารสัตว์น้ำ

เป็นสิ่งที่ซ่อมแซมและบำรุงร่างกายเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ เซลล์จะทำการแปลงวัตถุต่างๆ นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ซึ่งในอดีตเกษตรกรไม่เข้าใจถึงโภชนาการอาหาร แต่ปัจจุบันมีการเห็นคุณค่าทางโภชนาการอาหาร เพราะได้เห็นถึงประโยชน์ เช่น การป้องกันโรคที่เกิดจากการขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายทำให้ร่างกายอ่อนแอ ไม่มีภูมิต้านทานโรค หรือสารอาหารบางอย่างในร่างกายมากเกินไป ได้แก่ ไขมัน เป็นต้น (ธนาภรณ์, 2557)

สารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการ

สารอาหารทำให้ร่างกายของสัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตตามที่ต้องการ และสามารถทำกิจกรรมต่างๆ ได้ ซึ่งกลุ่มสารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความต้องการสารอาหารของปลา

โปรตีน

เป็นอินทรีย์สารที่มีมากที่สุดในร่างกายของสัตว์น้ำ สัตว์น้ำต้องการโปรตีน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ สร้างฮอร์โมน สร้างเอนไซม์ การหายใจ ให้พลังงาน การสืบพันธุ์และขยายพันธุ์ โดยทั่วไปสัตว์น้ำวัยอ่อนจะมีความต้องการโปรตีนสูงกว่าสัตว์น้ำที่โตเต็มวัย เนื่องจากสัตว์น้ำวัยอ่อนต้องใช้พลังงานต้านแรงผลักดันของน้ำมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์บก จะพบว่าปลาหรือสัตว์น้ำต้องการโปรตีนมากกว่าสัตว์บก (ประมาณร้อยละ 30-50 ในอาหาร) พบว่าสัตว์น้ำต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ อาร์จีนิน ฮีสติดีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ไลซีน เมไธโอนีน พีนิลอะลานีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน และวาลีน ซึ่งสัตว์น้ำไม่สามารถสร้างเองได้ต้องได้ ซึ่งจะต้องรับจากอาหารเท่านั้น (ธนาภรณ์, 2557)

ไขมัน

เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงสุด มีความสำคัญรองจากโปรตีน โดยเป็นของแข็งส่วนน้ำมันเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ไขมันจากพืชอยู่ในรูปของเหลว ไขมันในสัตว์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็ง มีอยู่ในทุกเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เยื่อหุ้มหัวใจ เยื่อหุ้มประสาท ป้องกันไม่ให้ฮอร์โมนและวิตามินซึมออกนอกเซลล์ ให้ร่างกายอบอุ่น ป้องกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายใน ให้พลังงาน ช่วยละลายและดูดซึมวิตามินบางชนิด ไขมันในร่างกายของสัตว์ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไขมันคงตัว มีอยู่ในปริมาณที่น้อยแต่ต้องมี และไขมันไม่คงตัว เป็นพลังงานสำรองเมื่อขาดแคลนอาหาร ไขมันในส่วนนี้จะถูกดึงมาใช้ (นฤมล, 2549)

คาร์โบไฮเดรต

เป็นแหล่งให้พลังงานแก่สิ่งมีชีวิต (แต่น้อยกว่าไขมัน) มีราคาถูกที่สุดหาง่าย เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด พบสะสมมากในพืชที่เกิดขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อสัตว์น้ำกินเข้าไปจะทำให้ได้พลังงานและสามารถแปรรูปเป็นไขมันเพื่อเก็บเป็นพลังงานสำรอง คาร์โบไฮเดรตให้ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 2.5 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ปลาจะย่อยและดูดซึมน้ำตาลได้ดีกว่าแป้ง แต่ใช้ประโยชน์จากแป้งได้ดีกว่าน้ำตาล ส่วนใยพืชหรือเซลลูโลสปลาสามารถย่อยได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย ดังนั้นแป้งจึงเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญต่อการนำมาผลิตอาหารปลามากกว่าน้ำตาลและเซลลูโลส โดยทั่วไปปลาสามารถย่อยแป้งได้ 25-70 เปอร์เซ็นต์ แต่ผันแปรไปตามชนิดของสัตว์น้ำ (นฤมล, 2549)

วิตามิน

เป็นสารที่สัตว์น้ำต้องการในปริมาณที่น้อย แต่ไม่สามารถขาดได้ มาจาก vital+amine หมายถึง สารประกอบที่สำคัญเท่าชีวิต สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ และเกิดจากการสังเคราะห์วิตามินที่มีความสำคัญต่อสัตว์น้ำมีประมาณ 15 ชนิด วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี วิตามินเค วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามันบี 3 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 วิตามินบี 7 วิตามินบี 9 วิตามินบี 12 โคลีน และวิตามินซี (ธนาภรณ์, 2557)

แร่ธาตุ

เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของปลาหรือสัตว์น้ำ ซึ่งให้กิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายสามารถดำเนินไปได้อย่างปกติ นำไปสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อเป็นโครงสร้างของร่างกาย ระบบการจัดสมดุล ปลาจะได้รับแร่ธาตุหลายชนิดจากน้ำผ่านทางเหงือก และบางส่วนจากวัตถุดิบที่นำมาทำอาหารแต่ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ เนื่องจากบางส่วนสูญเสียไประหว่างขั้นตอนการผลิต หรือปลาใช้ประโยชน์ธาตุนั้นๆ จากวัตถุดิบได้น้อย ยากต่อการย่อยและดูดซึม จึงมีความจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร (ธนาภรณ์, 2557)

วัตถุดิบอาหารสัตว์

สารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาหรือสารอาหารที่ให้ประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ ซึ่งอาจได้มาจาก พืช สัตว์ หรือจากการสังเคราะห์ ซึ่งตามปกติวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในธรรมชาติจะมีสารอาหารเป็นองค์ประกอบหรือที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นด้วยขบวนการต่างๆ ซึ่งจะสามารถจำแนกส่วนประกอบสารอาหารได้ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีหลายชนิดนำมาใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันไป ซึ่งการนำเอาวัตถุดิบอาหารเหล่านี้ไปเลี้ยงสัตว์เพียงอย่างเดียวหรือผสมรวมให้สัตว์กิน ควรมีความเข้าใจคุณลักษณะและส่วนประกอบของสารอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม (นิวุฒิ, 2549)

หอมหัวใหญ่

หอมหัวใหญ่ (*Allium cepa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Amaryllidaceous เป็นพืชล้มลุก หัวอยู่ใต้ดิน ลำต้นห่อหุ้มไปด้วยกาบใบโดยรอบๆ มีสีเขียวอ่อน ใบเป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ ใบมีลักษณะดาบยาวรี ปลายแหลม ใบกลมข้างในกลวง โคนใบเป็นกาบออกหุ้มสลับซ้อนกันอยู่ตรงโคนลำต้น ใบมีสีเขียว ดอกออกเป็นช่อ แทงออกมาจากตรงกลางลำต้น ก้านช่อดอกยาวกลมข้างในกลวง ดอกมีลักษณะคล้ายร่ม ทรงกลมแล้วบานออก มีดอกย่อยเล็กๆ อยู่บนก้านจำนวนมาก กลีบดอกมีสีขาว หัวมีลักษณะทรงกลมแป้น หรือทรงกลมรี หัวอ่อนมีเปลือกกาบใบห่อหุ้มหลายๆ ชั้นสีขาว หัวแก่มีเปลือกด้านนอกแห้งมีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นฉุน รสชาติเผ็ดร้อน จัดเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจนิยมนำมาบริโภคสด หรือนำประกอบอาหาร (ภาพที่ 3)

ปัจจุบันมีการผลิตหัวหอมเพิ่มมากขึ้น เพื่อใช้แปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม นำไปสู่การสร้างขยะอุตสาหกรรมจำนวนมาก ประกอบด้วย เปลือกภายนอก เยื่อหุ้มเปลือก ราก ขั้วหัว และหอมหัวใหญ่ที่เสื่อมสภาพ การใช้เศษหัวหอมเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารเพื่อสุขภาพเป็นวิธีหนึ่งในการสร้างคุณค่า (Vojvodić Cebin et al., 2020) ผลพลอยได้หรือของเสียจากหอมหัวใหญ่ เป็นแหล่งของสารพฤกษเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีเยี่ยม โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และเควอซิติน ซึ่งเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสามารถใช้เป็นส่วนผสมที่ส่งเสริมสุขภาพโดยเฉพาะในด้านเภสัชวิทยาและชีวการแพทย์ (Kumar et al., 2022; Shabir et al., 2022)

ฟลาโวนอยด์ เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืช ปรับการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ส่งเสริมการตอบสนองของทีเซลล์ต่อต้านมะเร็ง ลดการเกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน (ROS) และยับยั้งการอักเสบ (Hoskin and Coombs, 2022) สามารถจำแนกได้เป็น ฟลาโวนอล (เควอซิติน

แคปเฟอรอล ไอโซเคอร์ซิติน ฯลฯ) มีโครงสร้างโพลีฟีนอล ให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ บางชนิดป้องกันมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด การเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหาร และกลุ่มอาการระบบประสาท ซึ่งมีกลไกการออกฤทธิ์ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การปรับการแสดงออกของยีน (ไซโตไคน์ โมเลกุลการยึดเกาะ) หรือกิจกรรมของเอนไซม์ (Pérez-Cano and Castell, 2016)

เควอซิทิน ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์ที่พบในผักและผลไม้ มีคุณสมบัติทางชีวภาพที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งอาจปรับปรุงสมรรถภาพทางจิตหรือกาย และลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ ฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านการอักเสบ ต้านไวรัส และต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน การรวมตัวของเกล็ดเลือด และการซึมผ่านของเส้นเลือดฝอย และกระตุ้นการสร้างไมโตคอนเดรีย (Li et al., 2016)

ภาพที่ 3 หอมหัวใหญ่

การผลิตหอมหัวใหญ่ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์สีเหลือง โดยมีการผลิตในเขตอำเภอแม่วาง และอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดกาญจนบุรี (นิธิยา และดนัย, 2562)

ในปีพ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกหอมหัวใหญ่รวมทั้งประเทศประมาณ 10,275 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 34,244 ตัน พื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตภาคเหนือประมาณ 9,852 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 32,394 ตัน และอยู่ในเขตภาคกลางประมาณ 423 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 1,850 ตัน แยกเป็นจังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน นครสวรรค์ และกาญจนบุรี มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 1,999; 7,129; 80; 644 และ 423 ไร่ ได้ผลผลิตประมาณ 6,890 22,662 252 2,590 และ 1,850 ตัน ตามลำดับ (นิธิยา และดนัย, 2562)

ลักษณะทางชีวเคมี

ปริมาณน้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่อยู่ระหว่าง 10-15 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ในน้ำอยู่ระหว่าง 41.5-74.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลรีดิวซิงอยู่ระหว่าง 12.0-22.5 เปอร์เซ็นต์ และสารประกอบฟีนอลอยู่ระหว่าง 1.75-2.95 เปอร์เซ็นต์ กลิ่นของหอมหัวใหญ่เกิดจากสารประกอบ

ไทโอซัลฟิเนต ซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เร่งด้วยเอนไซม์ของสาร เอส-โพรพิล-ซิสเตอีน-ซัลฟอกไซด์ กลไกทางชีวเคมีซึ่งเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการงอกของหัว โดยใช้รังสี คือ การฉายรังสีแกมมาในปริมาณต่ำ ทำให้เมแทบอลิซึมของกรดนิวคลีอิกในเนื้อเยื่อเจริญ เกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของไรโบโซมอล-อาร์เอ็นเอ และดีเอ็นเอของหอมหัวใหญ่ที่ได้รับรังสีแกมมาจะมีอยู่น้อยกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตได้ หอมหัวใหญ่เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ใช้หอมหัวใหญ่เป็นการให้กลิ่นและรสชาติ ซึ่งเกิดจากสารประกอบที่มีกำมะถัน ได้แก่ แอลลิลโพรพิลไดซัลไฟด์ หอมหัวใหญ่พันธุ์ที่มีกลิ่นฉุนจัดมีปริมาณของสารประกอบที่มีกำมะถันที่ระเหยได้อยู่มาก ปริมาณน้ำหนักแห้งสามารถใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้คุณภาพในการเก็บรักษาได้ หอมหัวใหญ่ที่มีน้ำหนักแห้งมากจะมีรสฉุนและเก็บรักษาได้นาน (นิธิยา และดนัย, 2562)

คุณค่าทางโภชนาการ

หอมหัวใหญ่ มีปริมาณน้ำประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ หัวหอมมีแคลอรีต่ำและมีใยอาหารและน้ำตาลสูง (ตารางที่ 1) ในแง่ของปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ (ตารางที่ 2 และ 3) มีปริมาณโซเดียมต่ำและมีวิตามินบี 6 กรดโฟลิก แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง ในทางตรงกันข้าม หัวหอมมีปริมาณไขมันต่ำ (ตารางที่ 4) และมีกรดอะมิโน อาร์จินีน และกรดกลูตามิก สูง (ตารางที่ 5) ปริมาณทางโภชนาการของหัวหอมดิบ แสดงดังตารางที่ 1 ถึง 5

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
น้ำ (g)	89.11±0.25
พลังงาน (kcal)	40.00±0.00
พลังงาน (kJ)	166.00±0.00
โปรตีน (N x 6.25) (g)	1.10±0.04
ไขมันทั้งหมด (g)	0.10 ± 0.01
เถ้า (g)	0.35±0.00
คาร์โบไฮเดรต (g)	9.34±0.00
เยื่อใย (g)	1.70±0.05
น้ำตาล (g)	4.24±0.00
ซูโครส (g)	0.99±0.05
กลูโคส (เดกซ์โทรส) (g)	1.97±0.05
ฟรุกโตส (g)	1.29±0.05

ที่มา: Marín (2009)

ตารางที่ 2 ปริมาณวิตามินของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

วิตามิน	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
วิตามินซี (mg)	7.40±0.05
ไทแอมีน (mg)	0.05±0.00
ไรโบเฟลวิน (mg)	0.03±0.00
ไนอะซิน (mg)	0.12±0.00
กรดแพนโทเธนิค (mg)	0.12±0.00
วิตามินบี 6 (mg)	0.12±0.00
โฟเลต (mg)	19.00±0.06
โคลีน (mg)	6.10±0.00
บีเทน (mg)	0.10±1.00
บีตา-แคโรทีน (µg)	1.00±0.00
วิตามินเอ (IU)	2.00±0.00
ลูทีน + ซีแซนทีน (µg)	4.00±0.00
วิตามินอี (แอลฟา-โทโคฟีรอล) (mg)	0.02±0.00
วิตามินเค (ฟิลโลควิโนน) (µg)	0.40±0.01

ที่มา: Marín (2009)

ตารางที่ 3 ปริมาณแร่ธาตุของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

แร่ธาตุ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
แคลเซียม, Ca (mg)	23.00±0.57
เหล็ก, Fe (mg)	0.21±0.08
แมกนีเซียม, Mg (mg)	10.00±0.15
ฟอสฟอรัส, P (mg)	29.00±0.58
โพแทสเซียม, K (mg)	146.00±2.95
โซเดียม, Na (mg)	4.00±0.16
สังกะสี, Zn (mg)	0.17±0.00
ทองแดง, Cu (mg)	0.04±0.00
แมงกานีส, Mn (mg)	0.13±0.00
ซีลีเนียม, Se (µg)	0.50±0.15

ที่มา: Marín (2009)

ตารางที่ 4 ปริมาณไขมันของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

ไขมัน	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กรดไขมันอิ่มตัว (g)	0.042±0.00
14:0 (g)	0.004±0.00
16:0 (g)	0.034±0.003
18:0 (g)	0.004±0.00
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (g)	0.013±0.02
18:1(g)	0.013±0.02
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (g)	0.017±0.00
18:2 (g)	0.013±0.02
18:3 (g)	0.004±0.00
ไฟโตสเตอรอล (mg)	15±1±0.00

ที่มา: Marín (2009)

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนของหอมหัวใหญ่ดิบ (ต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้)

กรดอะมิโน	ค่าเฉลี่ย
ทริปโตเฟน (g)	0.014
ธรีโอนีน (g)	0.021
ไอโซลิวซีน (g)	0.014
ลิวซีน (g)	0.025
ไลซีน (g)	0.039
เมไทโอนีน (g)	0.002
ซีสตีน (g)	0.004
ฟีนิลอะลานีน (g)	0.025
ไทโรซีน (g)	0.014
วาลีน (g)	0.021
อาร์จินีน (g)	0.104
ฮิสติดีน (g)	0.014
อะลานีน (g)	0.021
กรดแอสปาร์ติก (g)	0.091
กรดกลูตามิก (g)	0.258
ไกลซีน (g)	0.025
โพรลีน (g)	0.012
ซีรีน (g)	0.021

ที่มา: Marín (2009)

ความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารของสัตว์น้ำ

การตรวจวัดความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารของสัตว์น้ำว่าสามารถย่อยวัตถุดิบอาหารได้หรือไม่ มีวิธีและเทคนิคที่ช่วยในการตรวจสอบ คือ วิธีการย่อยในหลอดทดลอง (*In vitro* digestibility) โดยการย่อยในหลอดทดลองเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบอาหารได้ ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารที่ดี และสามารถตรวจสอบเพื่อคัดเลือกอาหารที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยของสัตว์น้ำ สะดวก ใช้เวลาน้อย ค่าใช้จ่ายไม่แพง และสามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด ลดต้นทุนการผลิตอาหาร และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในทำนายการเจริญเติบโต และสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์ทั้งชนิดเดียวกันและต่างชนิดกันได้ (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

อวัยวะย่อยอาหารในสัตว์น้ำ

มีอวัยวะหลัก คือ กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ย่อยอาหารและผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าอวัยวะที่มีการผลิตเอนไซม์ย่อยอาหารด้วย คือ ตับอ่อน พบว่า มีการผลิตเอนไซม์ที่ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนด้วย ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อวัยวะผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร

อวัยวะผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร	เอนไซม์ย่อยอาหาร
กระเพาะอาหาร	เปปซิน
ตับอ่อน	อะไมเลส คาร์บอกซีเปปติเดส
(ลำไส้เล็ก)	ไคโมทริปซิน เลซิติเนส ไลเปส
	โพลีนิวคลีโอไทเดส ทริปซิน
ลำไส้เล็ก	อะมิโนเปปทิเดส ไดเปปทิเดส
	มอลตาส ซูเครส

ที่มา: การุน และอุทัยวรรณ (2555)

เอนไซม์ย่อยอาหารในสัตว์น้ำ

เอนไซม์ย่อยอาหารที่ย่อยสารอาหารหลัก ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานและการเติบโตของสัตว์น้ำ เอนไซม์ย่อยอาหารที่นิยมศึกษา ได้แก่ อะไมเลส ไลเปส โปรติเอส ทริปซิน และไคโมทริปซิน (การุน และอุทัยวรรณ, 2555) ซึ่งมีรายละเอียดของสารอาหารที่ย่อย ดังนี้

เอนไซม์อะไมเลส

เป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรต พบในน้ำลายและตับอ่อน เป็นเอนไซม์ชนิด 1,4-กลูโคซิเดส ซึ่งจะไฮโดรไลซ์สลายพันธะ 1,4-ไกลโคไซด์ ในโมเลกุลของสตาร์ชและไกลโคเจนได้เป็นเดกซ์ทริน และย่อยสลายต่อเป็นน้ำตาลมอลโทส สำหรับพันธะ 1,6-ไกลโคไซด์ จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-เดกซ์ทริเนส (1,6-กลูโคซิเดส) ซึ่งหลั่งออกมาจากเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก นอกจากนั้นเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เล็กจะหลั่งเอนไซม์มอลเทส แล็กเทส และซูเครส (อินเวอร์เทส) เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของไดแซ็กคาไรด์ คือ น้ำตาลมอลโทส แล็กโทส และซูโครส ตามลำดับ ให้เป็นมอโนแซ็กคาไรด์ทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส และกาแล็กโทส เพื่อดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดต่อไป กิจกรรมของอะไมเลสในปลาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุและกิจกรรมของเอนไซม์มีความแปรผันเนื่องจากพฤติกรรมการกินอาหารและเพศ (การุน และอุทัยวรรณ, 2555)

เอนไซม์ไลเปส

เป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยไขมัน ทำงานร่วมกับน้ำดี (Bile Salt) ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ก่อนที่จะเกิดการย่อยทางเคมี เอนไซม์ไลเปส มีหน้าที่ในการไฮโดรไลซพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นโมเลกุลที่มีสายโซ่คาร์บอนของกรดไขมันที่ยาว ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำที่อยู่ในลักษณะอิมัลชั่น ที่ไม่ได้อยู่ในรูปโมโนเมอร์ (Sztrolovics et al., 1997) โดยจะไฮโดรไลซ์โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล จะสามารถทำปฏิกิริยาได้เมื่อโมเลกุลของไตรกลีซอไรด์อยู่ในสภาพ oil-water interface จากโครงสร้างสามมิติของไลเปส พบว่าบริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะมีสายโพลิเปปไทด์ ทำหน้าที่เป็นฝาปิดตรงบริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถจับกับสับสเตรท โดยสายโพลิเปปไทด์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วเป็นส่วนใหญ่และขดตัวเป็นเกลียวเวียนขวา โดยฝาจะเปิดออกเมื่อสัมผัสบริเวณที่เป็นผิวร่วมระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับสวนที่ไม่ชอบน้ำ และที่บริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะมีกรดอะมิโนซีรีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ พบว่ามีกรดอะมิโนอีก 2 ชนิด ได้แก่ ฮีสทิดีน และกรดแอสพาติก เป็นตัวช่วยในการทำงานของกรดอะมิโนซีรีนที่บริเวณเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Balcão et al., 1996)

เอนไซม์โปรติเอส

เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ของโปรตีน เพื่อนำกรดอะมิโนมาใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม โปรติเอสมีการแสดงออกได้หลายรูปแบบ เนื่องจากประกอบด้วยหลายไอโซฟอร์ม ทำงานได้ดีในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่างกัน ในปลากินพืชการกระตุ้นการแสดงออกของอะไมเลส พบว่าสามารถช่วยส่งเสริมการแสดงออกของโปรติเอสได้ โปรติเอสแต่ละชนิดมีความจำเพาะในการตัดสายพอลิเพปไทด์ในตำแหน่งที่ต่างกัน การแสดงออกของโปรติเอสมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุ และอิทธิพลของเพศที่เข้ามาเกี่ยวข้อง (Ma et al., 2005) กิจกรรมของโปรติเอสในปลาวัยอ่อนมีความสำคัญต่อการกินอาหารในช่วงแรก การสลายไข่แดง และการย่อยอาหารของกระเพาะ โดยกิจกรรมของเอนไซม์จะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของทริปซินและไคโมทริปซิน ดังนั้นการใช้โปรติเอสเพื่อประเมินการเติบโตในสัตว์น้ำมักได้ผลที่มีการตอบสนองต่ำ เนื่องจากมีรูปแบบการแสดงออกที่ทับซ้อนกันของทริปซินและไคโมทริปซิน ซึ่งมีบทบาทต่อการควบคุมการเติบโตในทิศทางที่ตรงกันข้าม (การุน และอุทัยวรรณ, 2555)

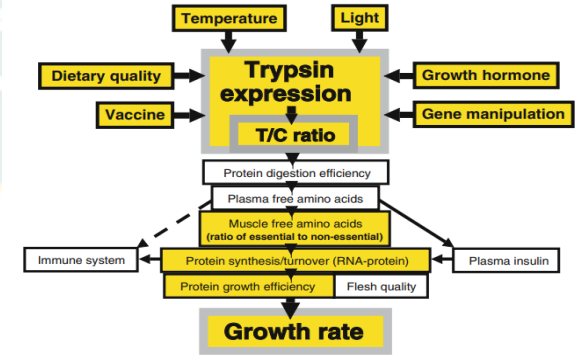
ทริปซิน

เป็นเอนไซม์ที่สำคัญมากในการควบคุมการย่อยโปรตีน โดยจะทำหน้าที่กระตุ้นโปรเอนไซม์หรือไซโมเจน ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยโปรตีนได้หลายชนิด ได้แก่ ทริปซิโนเจน ไคโมทริปซิโนเจน โปรคาร์บอกซีเปปติเดส และโปรอีลาสเตส ให้อยู่ในรูปที่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ ได้แก่ ทริปซิน ไคโมทริปซิน คาร์บอกซีเปปติเดส และอีลาสเตส ตามลำดับ ดังนั้นการศึกษากิจกรรมของทริปซินจึงมีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน ทริปซินเป็นอัลคาไลน์โปรติเอสที่เร่งปฏิกิริยาได้ดีในความเป็นกรด-ด่างที่ 7-10 โดยสามารถตัดพันธะเอไมน์ และเอสเทอร์ หลังกรดอะมิโนที่โซ่ข้างมีขั้วและประจุบวก ได้แก่ ไลซีน และอาร์จินีน (การุน และอุทัยวรรณ, 2555)

ไคโมทริปซิน

เป็นเอนไซม์ที่เกิดจากการกระตุ้นของทริปซิน สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างที่ 7-10 ไคโมทริปซินมีความจำเพาะต่อชนิดของสารตั้งต้น สามารถตัดพันธะเอไมน์และเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกับทริปซิน โดยตัดพันธะเปปไทด์หลังกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเป็นวงแหวน ได้แก่ ฟีนิลอะลานีน ทริปโทเฟน ไทโรซีน และกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเป็นไฮโดรโฟบิก ได้แก่ เมทไธโอนีน สารยับยั้งการทำงานของไคโมทริปซิน คือ Tosyl Phenyl Alanine Chloromethyl Ketone (TPCK) และ Chymostatin ในสัตว์น้ำ พบว่าการแสดงออกไคโมทริปซินมีผลต่อการเติบโตในทิศทางตรงกันข้ามกับทริปซิน โดยกิจกรรมของไคโมทริปซินจะมีค่าสูงในช่วงที่สิ่งมีชีวิตเติบโตช้าหรือถูกจำกัดโดยปัจจัยต่างๆ (การุน และอุทัยวรรณ, 2555)

การศึกษาเอนไซม์ย่อยอาหารมีบทบาทความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหาร ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำได้ดีขึ้น ได้แก่ การเสริมเอนไซม์ย่อยอาหารสามารถส่งเสริมการย่อยและการเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนได้หลายชนิด การจัดการด้านอาหาร ทำให้ทราบว่าควรให้อาหารอย่างไรเพื่อให้คุ้มค่าทุนต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ และใช้ในการประเมินการเติบโตโดยศึกษากิจกรรมของทริปซินและไคโมทริปซิน และใช้อัตราส่วนระหว่างทริปซินต่อไคโมทริปซินเพื่อศึกษาสมดุลของการสร้าง การสลายโปรตีน และอัตราการเติบโต (ภาพที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการหลั่งของทริปซินและไคโมทริปซินมีความสัมพันธ์กับความอยากอาหารของปลา อัตราการดูดซึมการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีนและระดับการหลั่งของพลาสมาอินซูลิน (Rungruangsak-Torrissen, 2018)



ภาพที่ 4 แสดงความสำคัญของทริปซินที่มีผลต่อการเจริญของสัตว์น้ำ

ที่มา: Rungruangsak-Torrissen (2018)

การย่อยอาหารในสัตว์น้ำ

การย่อยโปรตีน

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกัน มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต ปลาที่ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอต่อความต้องการจะมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ ปลากินเนื้อมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ดีกว่าปลากินพืชและสัตว์ และปลากินพืช ตามลำดับ เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่พบในกระเพาะอาหารและในลำไส้เล็ก ได้แก่ เปปซิน โดยกระเพาะจะหลั่งกรดไฮโดรคลอลิค เพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปบซิโนเจน โดยเอนไซม์เปปซินจะทำงานได้ดีความเป็นกรด-ด่างที่ 1.5-3.0 และย่อยโปรตีนโดยจะแยกพันธะเปบไทด์ระหว่างกรดอะมิโนชนิดอะโรมาติก ได้แก่ ฟีนิลอะลานิน และไทโรซิน จนได้โปรทรีออส ซึ่งเป็นสายของกรดอะมิโนที่มีความยาวต่างกัน และถูกส่งไปย่อยต่อในลำไส้ เอนไซม์ย่อยโปรตีนในลำไส้เล็กมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยจะได้จากการคัดหลั่งของผนังลำไส้เล็กและตับอ่อน ได้แก่ เอนไซม์ทริปซิโนเจน และไคโมทริปซิโนเจน ซึ่งจะย่อยโปรตีนได้จะต้องถูกกระตุ้นจากเอนไซม์เอนเทอร์โรไคเนส จากลำไส้เล็ก โดยเปลี่ยนทริปซิโนเจนไป

เป็นทริปซิน ส่วนไคโมทริปซิโนเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไคโมทริปซินที่สามารถย่อยโปรตีนได้ (Lovell, 1989) โดยทั่วไปลำไส้ของปลามีความเป็นกรด-ด่างที่ 7-9 และขณะย่อยอาหารจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหารจะไม่มีการหลั่งกรดไฮโดรคลอลิคออกมา การย่อยจึงเกิดขึ้นในลำไส้เล็กเท่านั้น เอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินจะช่วยย่อยโปรติออสที่ถูกส่งมาจากกระเพาะอาหารจนได้เปบโตน ซึ่งเป็นเปบไทด์ที่สายสั้นลงมา และโพลีเปบไทด์ ตามลำดับ จากนั้นกลุ่มของอะมิโนเปบซิเดสและคาร์บอกซีเปบติเดส ย่อยไดเปบไทด์ได้กรดอะมิโน ซึ่งเป็นโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กที่สุด (วีรพงศ์, 2536)

การย่อยคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่ แป้ง ไกลโคเจน และเซลลูโลส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำและทำหน้าที่เป็นโครงสร้างผนังเซลล์พืช การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการย่อยแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิด โครงสร้าง ปริมาณ และความสุก (Kaur et al., 2010) โดยการทำให้แป้งสุก พบว่า จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยให้สูงขึ้นอีก 25-30 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตที่ปลากินเป็นอาหาร ได้แก่ แป้ง น้ำตาล และเซลลูโลส โดยปลาย่อยน้ำตาลได้ดีกว่าแป้งและย่อยแป้งได้ดีกว่าเซลลูโลส การศึกษาการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ พบว่า ปลาใช้ประโยชน์จากแป้งได้มากที่สุด เนื่องจากเมื่อแป้งถูกย่อยเป็นน้ำตาลจะถูกดูดซึมไปอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยน้ำตาล ซึ่งจะย่อยและดูดซึมเร็วกว่า ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลา โดยพบว่า ปลากินพืชมีเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตมากกว่าปลากินเนื้อจึงสามารถดูดซึมคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลากินพืชและเนื้อ และปลากินเนื้อ ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณแป้งที่เหมาะสมในอาหารปลากินพืช ปลากินพืชและเนื้อ และปลากินเนื้อ ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 40-50 30-40 และ 10-20 ตามลำดับ (ธนาภรณ์, 2557) เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่พบในกระเพาะอาหารและลำไส้ ได้แก่ แอลฟา-อะไมเลส กลูโคซิเดส มอลเทส ซูเครส แลคเตส และเซลลูเลส เป็นต้น โดยแอลฟา-อะไมเลส เป็นเอนไซม์สำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกลูโคสและมอลโทส ซึ่งจะย่อยแป้งที่พันธะไกลโคซิดิกชนิดอัลฟา เอนไซม์ดังกล่าวของปลากินพืชและเนื้อ และปลากินพืชส่วนใหญ่จะได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร ตับอ่อน ตับ และไพโลริคซีกา ในขณะที่ปลากินเนื้อส่วนใหญ่มักจะหลั่งออกมาจากตับอ่อนแหล่งเดียวเท่านั้น สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจะอาศัยการย่อยของอะไมเลสเป็นหลัก ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่ากิจกรรมของอะไมเลสในการเทียบมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน (Areekijseree et al., 2006)

ระบบภูมิคุ้มกัน

ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์มีกระดูกสันหลังเกี่ยวข้องกับการตอบสนองทั้งระบบภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด (Innate Immune Response) ซึ่งไม่จำเพาะเจาะจงกับสิ่งแปลกปลอม และระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง (Acquired Immune Response) ซึ่งการตอบสนองที่เกิดขึ้นมีความจำเพาะต่อสิ่งแปลกปลอม โดยภูมิคุ้มกันโดยกำเนิดเป็นด่านแรกในการป้องกันการติดเชื้อมีความแตกต่างจากภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะทั้งเวลาในการตอบสนองซึ่งเร็วกว่า มีความจำเพาะกับโมเลกุลที่ประกอบกันเป็นตัวเชื้อโรคไม่มีความจำและมีความหลากหลายน้อยกว่า ความสามารถในการป้องกันตัวเองของปลา เริ่มจากผิวหนังและเหงือกซึ่งเป็นด่านแรกที่ปรสิต ราหรือแบคทีเรียจะเข้าสู่ตัวปลา ดังนั้นปลาต้องป้องกันตัวเองโดยโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมี มีการหลั่งเมือกออกมาโดยเซลล์กอบเลตในเมือกปลาพบโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตัว เช่น อิมมูโนโกลบูลิน ไลโซไซม์ และเลคติน (Ewart et al., 2001; Fujita, 2002; Tort et al., 2003) ส่วนในระบบภูมิคุ้มกันในน้ำเลือดเกิดจากการหลั่งโปรตีนหลายๆ ชนิดจากทั้งเซลล์เม็ดเลือดและเนื้อเยื่อเข้าสู่น้ำเลือด โดยโปรตีนมีความสามารถในการยับยั้ง เหนี่ยวนำ หรือทำลายสิ่งแปลกปลอมไม่ให้ทำอันตรายต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่ Transferrin, Toxins, Lectins, Agglutinins of a nonimmunoglobulin nature, C-reactive protein, Lysozyme, Interferon, Non-enzymatic lysins, Enzyme inhibitors และ Complement เป็นต้น (Alvarez-Pellitero, 2008; Pastoret et al., 1998; Tort et al., 2004)

สำหรับระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะของปลากระดูกแข็งไม่ซับซ้อนเท่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยพบอิมมูโนโกลบูลินเพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่ IgM และ IgD ในขณะที่สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีถึง 5 ชนิด ได้แก่ IgG IgM IgE IgA และ IgD (Schwaiger et al., 1997) ด้วยเหตุที่ระบบภูมิคุ้มกันปลามีพัฒนาการที่ไม่ดีนัก ดังนั้นปลาจึงต้องใช้ระบบภูมิคุ้มกันที่มีความหลากหลายแตกต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่ง Tort et al. (2004) ได้สรุปไว้ว่า ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจงในปลาดูเหมือนว่าจะมีความสำคัญในการตอบสนองต่อการติดเชื้อมากกว่าระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง

สัตว์น้ำมีความหลากหลายทางวิวัฒนาการสูงมาก ปลากระดูกแข็ง (Teleost) จัดเป็นสัตว์น้ำที่มีการศึกษาระบบภูมิคุ้มกันมากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ซึ่งพบว่าระบบภูมิคุ้มกันมีลักษณะคล้ายกับสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง (Schwaiger et al., 1997) เนื่องจากมีการจดจำและตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมด้วยการเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาว มีการสร้างและหลั่งโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปลากระดูกแข็งที่มีระบบภูมิคุ้มกันทั้ง 2 แบบ คือ แบบไม่จำเพาะ (Non-specific หรือ Innate) และแบบจำเพาะ (Specific หรือ Adaptive)

ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (Non-Specific immune system)

Physical barriers ประกอบด้วย เกล็ด ผิวหนัง เมือกและเหงือก ส่วนต่างๆ เหล่านี้ เป็นปราการด่านแรกที่ใช้ในการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าสู่ตัวปลา (Ellis, 2001; Ingram, 1980; Shephard, 1994) ที่เมือกของปลาจะประกอบด้วย Lectins, Pentraxins, Lysozymes, Complement proteins, Antibacterial peptides และ Immunoglobulin M (IgM) เป็นต้น ส่วนประกอบเหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการป้องกันการติดเชื้อของปลา (Alexander and Ingram, 1992; Aranishi and Nakane, 1997; Boshra et al., 2006; Rombout et al., 1993; Saurabh & Sahoo, 2008) นอกจากนี้ ชั้นของหนังกำพร้าสามารถตอบสนองการรุกล้ำของเชื้อโรคที่จะเข้าสู่ร่างกายโดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ขึ้น ซึ่งความสมบูรณ์ของเซลล์มีความสำคัญต่อสมดุลออสโมติก (Takashima and Hibiya, 1995)

Humoral components ประกอบด้วยโมเลกุลต่างๆ ได้แก่

1. Aggutinins และ Precipitin ได้แก่ Lectin like, C-type lectin และ Pentraxines (C-reative protein; CRP) ก่อให้เกิดการจับกลุ่มของเซลล์แปลกปลอมและตกตะกอน
2. Lytic enzymes ได้แก่ Lysozymes, Chitinases และ Cathepsins ทำหน้าที่ย่อยทำลายผนังเซลล์แบคทีเรีย
3. Growth inhibitors ได้แก่ Transferrin (Iron binding protein), interferon (IFN) และ Mx protein ทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหรือไวรัส
4. Protease inhibitors ได้แก่ a-2 macroglobulin มีหน้าที่ครอบคลุมแบบกว้าง

Cellular Components ในปลากระดูกแข็งจะมี Nonspecific cells components ได้แก่ Phagocytic cells, Granulocyte (Neutrophils), Monocytes (Macarophages) และ Nonspecific cytotoxic cells (NCC) คล้ายกับในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (ประพฤติดี, 2550)

ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (Adaptive immune system)

สารน้ำ ได้แก่ อิมมูโนกลอบูลินหรือแอนติบอดี ที่ทำหน้าที่ ป้องกันการติดเชื้อในซีรั่มและบริเวณเยื่อบุต่างๆ อิมมูโนกลอบูลินในปลาสร้างมาจาก B cells และ Plasma cells อิมมูโนกลอบูลินในปลามี 3 ประเภท ได้แก่ IgM, IgD และ IgT (Fillatreau et al., 2013)

Lymphocytes แบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่ B cells และ T cells (Laing and Hansen, 2011) T cells มีหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเซลล์อื่น (Toda et al., 2011) ส่วน B cells ทำหน้าที่สำคัญต่อ Humoral response (ประพฤติดี, 2550)

ต้นทุนและผลตอบแทน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้หรือผลตอบแทนในระยะเวลาหนึ่งรอบของการดำเนินการ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงกำไรที่ได้รับ ในการวิเคราะห์จะพิจารณาต้นทุนการผลิตทั้งในรูปของเงินสดและไม่เป็นเงินสด ทั้งนี้การวิเคราะห์ต้นทุนในทางเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ต้นทุนทางบัญชี และต้นทุนค่าเสียโอกาส หรือมูลค่าของผลตอบแทนจากกิจกรรมที่สูญเสียโอกาสไปในการเลือกทำกิจกรรมอย่างหนึ่ง

ต้นทุนการผลิต

ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยต้นทุนในการทำการเพาะเลี้ยงปลาประกอบด้วยต้นทุน 2 ประเภท ได้แก่

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการเลี้ยงปลา และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงการผลิตนั้นๆ ซึ่งเกิดจากปัจจัยการผลิตที่มีอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งระยะเวลาของการดำเนินการ ผู้ผลิตจะต้องเสียต้นทุนในจำนวนที่คงที่ ไม่ว่าจะทำการเลี้ยงปลาในปริมาณมากน้อยเพียงใดก็ตามหรือแม้ว่าจะไม่มีการเลี้ยงปลาเลย ต้นทุนคงที่อาจอยู่ในรูปของค่าเสียโอกาสหรือค่าเสื่อมราคา โดยต้นทุนคงที่ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ที่เป็นเงินสด เป็นค่าใช้จ่ายที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาจ่ายออกไปจริงเป็นเงินสดในจำนวนที่คงที่ เป็นต้น
2. ต้นทุนคงที่ที่ไม่เป็นเงินสด เป็นค่าใช้จ่ายจำนวนคงที่ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาไม่ได้จ่ายออกไปจริงในรูปของเงินสดหรือเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ที่ได้จากการประเมิน ได้แก่ ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน ค่าเสื่อมราคาบ่อดิน และอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

ต้นทุนผันแปร (Variable cost) เป็นต้นทุนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการเลี้ยงปลา โดยจะมีปริมาณไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปริมาณการเพาะเลี้ยงหากไม่มีการเพาะเลี้ยงจะไม่มีต้นทุนผันแปร ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าอาหาร ค่าลูกพันธุ์ปลา ค่าจ้างแรงงาน และค่าไฟฟ้า เป็นต้น โดยต้นทุนผันแปรสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. ต้นทุนผันแปรที่เป็นเงินสด_เป็นค่าใช้จ่ายผันแปรที่เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาจ่ายออกไปเป็นเงินสดในการซื้อปัจจัยการผลิต ได้แก่ อาหาร ลูกพันธุ์ปลา แรงงาน และไฟฟ้า เป็นต้น
2. ต้นทุนผันแปรที่ไม่เป็นเงินสดหรือค่าใช้จ่ายประเมิน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาไม่ได้จ่ายออกไปจริงในรูปของเงินสด ได้แก่ ค่าแรงงานตนเอง หรือค่าเสียโอกาสของเงินทุนหมุนเวียนในกิจการ เป็นต้น (กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, 2564)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Thongprajukaew et al. (2013) ได้ศึกษาการใช้วิธีการ *In vitro* digestibility เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารที่มีคุณภาพดี แล้วนำมาสร้างสูตรอาหารให้เหมาะสมกับปลากัดที่มีอายุและเพศแตกต่างกัน ยังพบว่าวิธีการ *In vitro* digestibility สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการทำให้โครงสร้างของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลง ทำให้ได้สูตรอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการดียิ่งขึ้นได้ด้วย

รุ่งกานต์ และคณะ (2551) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิล (*Oreochromis niloticus,* L.) ที่ขนาดต่างๆ พบว่า ปลาขนาดเล็กกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสและไลเปสจะทำงานดีกว่าปลาขนาดใหญ่ และในทางตรงกันข้าม กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสจะทำงานได้ดีในปลาขนาดใหญ่ ปลาที่ขนาดต่างกัน กิจกรรมและชนิดของเอนไซม์ก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจากผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้าง และปรับปรุงสูตรอาหาร รวมถึงเลือกวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมในปลาแต่ละขนาด ทั้งด้านโภชนาการและราคา เพื่อผลิตปลานิลให้ได้คุณภาพ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตด้วย

โฉมอนันต์ และคณะ (2564) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบจากกล้วยด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย ด้วยวิธี *In vitro* digestibility โดยใช้วัตถุดิบทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยหอมสุก กล้วยไข่ดิบ และกล้วยไข่สุก ด้วยเอนไซม์จากลำไส้ของปลาหมอไทย พบว่า วัตถุดิบที่เอนไซม์ของปลาหมอไทยสามารถย่อยได้ดี และเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นอาหารปลาหมอไทย คือ กล้วยไข่สุก กล้วยน้ำว้าสุก และกล้วยหอมดิบ เนื่องจากประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกับปลาป่น ปลายข้าว และกากถั่วเหลือง นอกจากนี้กล้วยยังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงควรนำไปสร้างและปรับสูตรอาหารให้เหมาะสมกับปลาหมอไทยทั้งด้านโภชนาการและราคา

จุลทรรศน์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลานิล ด้วยวิธี *in vitro* digestibility โดยใช้วัตถุดิบทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลายข้าว ข้าวโพด และรำ พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลืองได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในรำได้ดีที่สุด

สุดาพร และดวงพร (2556) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล ด้วยวิธีการ *in vitro* digestibility เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบจำนวน 15 ชนิด ได้แก่ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลิน่า ปลาป่น ใบกระถิน ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่าการหมักแบบ

ไร้อากาศ และปลายข้าว พบว่าเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในบริเวอร์ยีสต์ ในขณะที่ความสามารถในการย่อยโปรตีนสูงสุดในปลายข้าว ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัย พบว่าเอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัย พบว่าความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในกากนมถั่วเหลือง และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายไส้ไก่

Seden (2013) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผงหัวหอมที่ใช้เป็นสารเสริมอาหารต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และองค์ประกอบของร่างกายในปลานิล ความสามารถในการเกิดโรคจากการติดเชื้อ *Aeromonas hydrophila* โดยใช้ปลาขนาดเริ่มต้น 0.8 กรัม ระยะเวลาทดลอง 15 สัปหาด์ ให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8.11 เปอร์เซ็นต์ และระดับพลังงานในอาหาร 4.63 กิโลแคลอรีต่อกรัม เสริมผงหัวหอม ในอาหาร 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบฉีดเชื้อเข้าช่องท้อง (I/P) สังเกตอัตรารอดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าในอาหารเสริมผงหัวหอม 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโต อัตราส่วนการเปลี่ยนอาหาร (FCR) อัตราส่วนประสิทธิภาพอาหาร (FER) อัตราส่วนประสิทธิภาพโปรตีน (PER) การใช้โปรตีนที่ชัดเจน (APU) และการใช้พลังงาน (EU) ดีที่สุด และพบว่าสามารถลดต้นทุนอาหารสัตว์ 26.47 เปอร์เซ็นต์ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสามารถเสริมผงหัวหอมในอาหารปลาได้ไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และภูมิคุ้มกันของปลา นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนอาหารปลานิลได้

Elgendy et al. (2022) ได้ศึกษาหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคติดเชื้อรา (saprolegniasis, *Saprolegnia parasitica*) ของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และลดความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันของแคดเมียม โดยแยกและจำแนกชนิดเชื้อราจากปลานิลติดโรคในฟาร์ม จากนั้นยืนยันชนิดของเชื้อด้วยการตรวจสอบลำดับยีนบริเวณ Internal Transcribed Spacer (ITS) ซึ่งได้รับการยืนยันเพิ่มเติมโดยการจัดลำดับยีน ITS ทดลองเลี้ยงปลา 4 กลุ่มในน้ำที่มีแคดเมียม (1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ให้อาหารที่เสริมด้วยหอมหัวใหญ่ที่สกัดหยาบหรือแอลกอฮอล์ 2 ระดับ (0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์) ปลา กลุ่มควบคุมได้รับอาหารไม่เสริมสารสกัดหัวหอมเลี้ยงในน้ำที่มีและไม่มีแคดเมียม ค่า LC50 ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ปลาที่สัมผัสกับแคดเมียมมีการเจริญเติบโตไม่ดี ค่าทางชีวเคมีผิดปกติ ภูมิคุ้มกันบกพร่อง และความเครียดออกซิเดชันสูง ซึ่งการให้อาหารปลานิลที่เสริมด้วยหอมหัวใหญ่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (WG, SGR) และช่วยเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันที่ไม่เฉพาะเจาะจง (WBCs ปริมาณโปรตีนรวม โกลบูลิน ไลโซไซม์ ไมอีโลเปอร์ออกซิเดส และแอนติโปรตีเอส) การเพิ่มหอมหัวใหญ่ในอาหารช่วยลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (GST และ SOD) และการตายหลังจากการทดสอบเชื้อ *Saprolegnia parasitica* ลดการสะสมของแคดเมียมในอวัยวะของปลานิล และเพิ่มการแสดงออกของยีน *IL-1β* และ *IFNγ* ปลานิลที่ได้รับ

อาหารผสมสารสกัดหอมหัวใหญ่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลดีที่สุด มีคุณสมบัติกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ป้องกันและควบคุม *Saprolegnia parasitica* และช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากแคดเมียม

Saleh et al. (2015) ได้ศึกษาประเมินผงกระเทียมและผงหอมหัวใหญ่เป็นสารเสริมจากพืชในอาหารปลากะพงขาว (*Dicentrarcus labrax*) โดยใช้กระเทียม 3 ระดับ (10, 20 และ 30 กรัมต่อกิโลกรัม) และผงหัวหอม (5, 10 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม) เสริมในอาหารของปลากะพงขาว พบว่ากระเทียมและผงหัวหอม ที่ระดับ 30 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สามารถเพิ่มอัตรารอด การเจริญเติบโต และการใช้อาหารของปลากะพงขาว นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณฮีโมโกลบิน ค่าฮีมาโตคริต ปริมาณเฉลี่ยของเม็ดเลือด ค่าฮีโมโกลบินเฉลี่ยและจำนวนเม็ดเลือดขาว

Aluta et al. (2021) ได้ศึกษาการประเมินผลของผงเปลือกหอมหัวใหญ่ ต่อการเจริญเติบโต เคมีในเลือด กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในตับ และการตอบสนอง SOD mRNA ของปลาดุก *Clarias gariepinus* พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมผงเปลือกหัวหอมที่ระดับ 20 และ 60 กรัมต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) และอัตราการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ที่ดี มีค่าฮอร์โมนคอร์ติซอล (*Cortisol*) ลดลง เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (คาตาเลสและกลูตาไธโอน) เพิ่มขึ้น การศึกษานี้ยืนยันถึงประโยชน์ผลของอาหารเสริมเปลือกหัวหอมต่อการเจริญเติบโต การใช้สารอาหาร โลหิตวิทยา และพารามิเตอร์ทางชีวเคมีและกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระของ *C. gariepinus*

Jung et al. (2011) ได้ศึกษาสารสกัดจากเปลือกหัวหอมช่วยแก้ไขภาวะน้ำตาลในเลือดสูงและการดื้อต่ออินซูลินในหนูเบาหวานที่เกิดจากอาหารที่มีไขมันสูงต่อสเตรปโตโซโทซิน เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมเบาหวาน ความสามารถในการลดน้ำตาลในเลือดและความไวต่ออินซูลินของเปลือกหัวหอม 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นโดยการปรับปรุงความทนทานต่อกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญ ที่ผลของการกระตุ้นอินซูลินของเปลือกหัวหอม ได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติมจากระดับไกลโคเจนที่เพิ่มขึ้นในตับและกล้ามเนื้อ การวิเคราะห์เชิงปริมาณ RT-PCR แสดงการแสดงออกที่เพิ่มขึ้นของตัวรับอินซูลิน และ GLUT4 ในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ประเมินโดยกิจกรรมซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเตสและการก่อตัวของมาลอนไดอัลดีไฮด์ กรดไขมันอิสระในพลาสมาและการแสดงออกของโปรตีนในตับของ IL-6 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเปลือกหัวหอม 1 เปอร์เซ็นต์ อาจปรับปรุงการตอบสนองของกลูโคสและความต้านทานต่ออินซูลินที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวาน โดยการลดการควบคุมเมตาบอลิซึมของกรดไขมันอิสระ ยับยั้งความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การควบคุมการดูดซึมกลูโคสที่เนื้อเยื่อรอบข้างหรือลดการแสดงออกของยีนอักเสบในตับ เปลือกหัวหอมมีประสิทธิภาพมากกว่าสารเควอซิทินบริสุทธิ์ เป็นการค้นพบนี้เป็นพื้นฐานสำหรับการใช้เปลือกหัวหอมเพื่อปรับปรุงการไม่ไวต่ออินซูลินในผู้ป่วยเบาหวาน

Park et al. (2007) ได้ศึกษาเนื้อหัวหอมและเปลือกหัวหอมช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในหนูอายุมาก เพื่อศึกษาผลกระทบของเนื้อหัวหอมหรือเปลือกหัวหอมในอาหารต่อลิพิดเปอร์ออกไซด์

และความเสียหายของดีเอ็นเอในหนูสูงวัย หนูเพศผู้ Sprague Dawley (อายุ 40 ปี อายุ 16 เดือน) พบสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (TAS) และระดับของโพลีฟีนอลทั้งหมดและเควอซิตินทั้งหมดมีค่ามากที่สุดใน ผงสารสกัดเอทานอลจากเปลือกหัวหอม รองลงมาคือผงเปลือกหัวหอม สารสกัดเอทานอลจากเนื้อหัวหอม และผงเนื้อหัวหอม พบว่าระดับ Quercetin และ Isorhamnetin ในพลาสมาเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยผงเปลือกหัวหอมและสารสกัดเอทานอลจากเปลือกหัวหอม หนูที่กินผงเนื้อหัวหอมหรือผงเปลือกหัวหอมมีค่า TAS ในพลาสมาสูงกว่าหนูที่กินอาหารควบคุม ผงเปลือกหัวหอมลดสารปฏิกิริยาไทโอบาร์บิทูริกในตับเมื่อเทียบกับอาหารควบคุมในหนูอายุมาก ระดับ 8-isoprostane ในสมองลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากอาหารหัวหอมทั้ง 4 ชนิด และการลดลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับอาหารผงเนื้อหัวหอมและอาหารผงเปลือกหัวหอม ไม่มีการลดความเสียหายของ DNA ของเซลล์ในไตหรือเนื้อเยื่อสมองในหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารหัวหอม 4 ชนิด เนื้อหัวหอมหรือเปลือกหัวหอมช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในหนูสูงอายุ และอาจเป็นประโยชน์สำหรับผู้สูงอายุในการลดระดับไขมันเปอร์ออกไซด์

Montoya-Mejía et al. (2017) ได้ศึกษาการย่อยได้ การเจริญเติบโต เคมีในเลือด และการทำงานของเอนไซม์ของลูกปลานิล *Oreochromis niloticus* ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมผลพลอยได้จากสัตว์และพืชที่มีระดับพลังงานในอาหารเท่ากัน โดยใช้ผลพลอยได้สัตว์ (ปลาหมัก โปรตีนจากนมวัว เลือดวัว และกระดองปูแดงป่น) และผลพลอยได้พืช (ถั่วอัด กากถั่วชิกพี กากมะพร้าว กากสบู่สบู่ดำ และถั่วชิกพี) พบว่า การย่อยได้ของโปรตีนหยาบสูงสุดจากโปรตีนจากนม และอาหารถั่วอัดรีด น้ำหนักตัวสุดท้ายที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในกระดองปูแดง และถั่วชิกพีอัดรีด ในขณะที่อัตราส่วนประสิทธิภาพโปรตีนสูงสุดในหมักปลาและกระดองปูแดง และฮีมาโตคริตสอดคล้องการเจริญเติบโต ในปริมาณน้ำตาลกลูโคส คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ สูงสุดในปลาหมัก และโปรตีนจากนม ยังพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการย่อยได้ของโปรตีนหยาบกับกิจกรรมของไคโมทริปซิน ดังนั้นจึงสามารถใช้ปลาหมัก โปรตีนจากนม และถั่วชิกพีอัดรีด นำมาสร้างสูตรอาหารปลานิลที่มีราคาถูกและมีคุณภาพดี

Wannavijit et al. (2022) ศึกษาประสิทธิภาพของผงเมล็ดลำไยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การตอบสนองของภูมิคุ้มกัน การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน และสารต้านอนุมูลอิสระในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงภายใต้ระบบ biofloc พบว่าการให้ผงเมล็ดลำไยสามารถเพิ่มอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG) และอัตราการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ในปลานิลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อาหารที่เสริมด้วยผงเมล็ดลำไยแสดงให้เห็นกิจกรรมในซีรัมเปอร์ออกซิเดส (SPA) ที่เพิ่มขึ้น กิจกรรมของไลโซไซม์ในซีรั่ม (SLA) กิจกรรมของไลโซไซม์ของเมือกที่ผิวหนัง (MLA) และกิจกรรมของเมือกเปอร์ออกซิเดสของผิวหนัง (MPA) มีค่าสูงสุดจากอาหารเสริมเมล็ดลำไย 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

($p<0.05$) การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันและสารต้านอนุมูลอิสระ (IL1, IL8, LBP, GSTa, GPX และ GSR) ในตับและลำไส้ โดยมีค่าสูงสุดจากอาหารเสริมเมล็ดลำไย 20 กรัมต่อกิโลกรัม จึงแสดงให้เห็นว่าผงเมล็ดลำไยมีประโยชน์ในการเสริมการทำงานและสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิลในระบบไบโอฟลอค

Le Xuan et al. (2022) ศึกษาการให้อาหารเสริมเมล็ดเงาะ (*Nephelium lappaceum*) ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค ผลกระทบต่อการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และการแสดงออกของยีนภูมิคุ้มกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเมล็ดเงาะ 10 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม มีอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) การเพิ่มของน้ำหนัก (WG) และอัตราส่วนการเปลี่ยนอาหาร (FCR) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) หลังจาก 8 สัปดาห์ มีค่าที่สูงสุดในปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเมล็ดเงาะ 10 กรัมต่อกิโลกรัม ในอัตราการรอดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) การให้อาหารเสริมเมล็ดเงาะ แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ทางภูมิคุ้มกันที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองของเมือกที่ผิวหนังและซีรั่ม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) มากกว่าอาหารควบคุม หลังจากการทดลองให้อาหาร 8 สัปดาห์ การแสดงออกของยีน ยีน IL1, IL8, LBP, GSTa และ GSR ในระดับสูงสุดในปลาที่เลี้ยงด้วย RS10 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมและอาหารเสริมอื่นๆ มีการเพิ่มขึ้นของ IL-8, LBP, GSTa, GPX และ GSR ในปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเมล็ดเงาะ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สรุปได้ว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเมล็ดเงาะ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกันในเมือกที่ผิวหนังและซีรั่ม และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในปลานิลที่เลี้ยงภายใต้ระบบไบโอฟลอค

เมฆ และคณะ (2564) ศึกษาชนิดของอาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนต่อการเลี้ยงปลาดุกยักษ์ในกระชังบก โดยให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับอาหารธรรมชาติ ได้แก่ ปลวก จิ้งหรีด และมดแดง พบว่าการให้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับปลวกมีความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยสูงที่สุด และเมื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการลงทุนเลี้ยงปลาดุกยักษ์ในกระชังบก พบว่า การให้อาหารเม็ดร่วมกับการให้ปลวก มีค่าผลตอบแทนสูงที่สุด 55.44±2.75เปอร์เซ็นต์ การให้อาหารเม็ดร่วมกับจิ้งหรีดและมดแดงมีผลตอบแทน 54.01±1.16 และ 52.82±3.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วรรณชัย (2557) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายผมนางเพื่อเป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงปลานิล พบว่า การเจริญเติบโตของปลาแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกตั้งแต่ 0-4 สัปดาห์ ปลานิลสามารถใช้สาหร่ายผมนางได้ร้อยละ10 ระยะที่ 2 ตั้งแต่ 6-12 สัปดาห์ ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายผมนาง 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับปลาทดลองที่ได้รับอาหารเสริมสาหร่ายผมนาง 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อระดับสาหร่ายผมนางที่ผสมในอาหารในระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาลดลง ในอัตราการเจริญเติบโต

จำเพาะ อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ มีแนวโน้มเป็นไปในแนวเดียวกันกับการเจริญเติบโตของปลา จะเห็นได้ว่า ในปลาแต่ละช่วงอายุมีความต้องการสาหร่ายผมนางที่แตกต่างกัน ควรเสริมในสูตรอาหาร 5-10 เปอร์เซ็นต์ ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปลา แต่ถ้ามีการเสริมสาหร่ายผมนางสูง 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

ณรงค์ (2560) การศึกษารูปแบบการให้อาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในกระชังแขวนในบ่อดิน แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น กลุ่มให้อาหารทุกวันๆ ละ 2 มื้อ และ 1 มื้อ กลุ่มให้อาหารเว้นวันวันละ 2 มื้อ และ 1 มื้อ พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในกลุ่มที่ให้อาหารวันเว้นวันให้ค่าต่ำกว่า ผลที่ได้จากการศึกษายืนยันได้ว่าปลานิลที่ให้อาหารเว้นวันโดยให้อาหารวันละ 1-2 มื้อ มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากปลานิลที่ให้อาหารทุกวัน ต้นทุนค่าอาหารปลาพบว่าการให้แบบวันเว้นวันมีต้นทุนถูกกว่า 193.50 บาท คิดเป็น 48.40 เปอร์เซ็นต์ จากต้นทุนการให้อาหารแบบทุกวัน ดังนั้นรูปแบบการให้อาหารปลานิลแบบวันเว้นวันสามารถทำให้ปลานิลเจริญเติบโตได้อย่างปกติ และช่วยลดปริมาณการอาหารที่ต้องให้ปลานิลลงได้

บทที่ 3
แนวทางการดำเนินการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของเปลือกหอมหัวใหญ่และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล

วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเปลือกหอมหัวใหญ่และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (1995) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (NFE) คำนวณจาก 100 - (โปรตีน + ไขมัน + ความชื้น + เถ้า + เยื่อใย) และค่าพลังงาน (GE) คำนวณจาก (เปอร์เซ็นต์โปรตีน x 5.64) + (เปอร์เซ็นต์ไขมัน x 9.44) + (เปอร์เซ็นต์ NFE x 4.11) ตามวิธีของ NRC (1993)

การศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่

วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 หน่วยการทดลอง แต่ละหน่วยการทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ

หน่วยการทดลองที่ 1 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 0 เปอร์เซ็นต์

หน่วยการทดลองที่ 2 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์

หน่วยการทดลองที่ 3 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 2 เปอร์เซ็นต์

หน่วยการทดลองที่ 4 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 เปอร์เซ็นต์

การเตรียมตัวอย่างปลานิล

เตรียมปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 15 กรัม ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ปล่อยในอัตราส่วน 20 ตัวต่อตู้ทดลองในตู้ทดลองขนาด 36x16x18 นิ้ว และติดตั้งออกซิเจน จำนวน 16 ตู้ โดยการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของปลาในแต่ละหน่วยการทดลองในการทดลอง บันทึกผล

การเตรียมตัวอย่างเปลือกหอมหัวใหญ่

นำเปลือกหอมหัวใหญ่ที่ได้จาก บริษัท ประภาพร โปรดักชั่น จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บดเปลือกหัวหอมใหญ่แห้งให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น แล้วเก็บใส่ในถุงที่ปิดสนิทและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

อาหารและการให้อาหาร

สูตรอาหารในการทดลองเป็นอาหารที่ผลิตเอง อาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,387-3,553 กิโลแคลอรี/กรัม ดังตารางที่ 7 ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง (8.00 น. และ 16.00 น.) อัตราส่วนของการให้อาหาร 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ สัปดาห์ละครั้ง วัดการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำทุกๆ 15 วัน ทำการเลี้ยงโดยใช้ระยะเวลา 60 วัน

ตารางที่ 7 วัตถุดิบและสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล

	ชุดการทดลอง			
	OP0	**OP1**	**OP2**	**OP4**
ปลาป่น	200	200	200	200
ข้าวโพด	150	150	150	150
ถั่วเหลือง	400	400	400	400
แป้งสาลี	60	60	60	60
รำละเอียด	150	140	130	110
เปลือกหอมหัวใหญ่	0	10	20	40
สารเหนียว	20	20	20	20
น้ำมันถั่วเหลือง	5	5	5	5
พรีมิกซ์	10	10	10	10
วิตามิน C	5	5	5	5
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/กรัม)	3,553	3,512	3,470	3,387
ความชื้น	6.42±0.14^{a}	6.34±0.13^{a}	6.42±0.48^{a}	6.51±0.89^{a}
เถ้า	12.28±0.60^{b}	11.53±0.71^{a}	12.35±0.23^{b}	12.69±0.14^{b}
ไขมัน	2.05±0.04^{a}	2.24±0.07^{b}	2.16±0.00^{ab}	2.01±0.03^{a}
เยื่อใย	8.25±0.26^{ab}	7.44±0.26^{a}	9.11±0.10^{bc}	10.23±0.33^{c}
โปรตีน	30.19±0.50^{a}	29.87±0.80^{a}	29.05±0.50^{a}	29.28±0.30^{a}
คาร์โบไฮเดรต	40.83±0.56^{ab}	42.60±1.02^{b}	40.91±0.60^{ab}	39.30±0.57^{a}

หมายเหตุ: OP0 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 0 เปอร์เซ็นต์
OP10 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์
OP20 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 2 เปอร์เซ็นต์
OP40 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 เปอร์เซ็นต์

การเก็บข้อมูล

สุ่มวัดความยาวและน้ำหนักในแต่ละหน่วยการทดลอง ทุกๆ 15 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต คำนวณดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, WG; กรัม)

= น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain, ADG; กรัมต่อตัวต่อวัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{ระยะเวลาทดลอง}}$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR; เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

$$= \frac{(\ln \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100}{\text{ระยะเวลาทดลอง}}$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}$$

ประสิทธิภาพอาหาร (feed efficiency ratio, FER)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากิน}}$$

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (food conversion efficiency, FCE)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากิน}} \times 100$$

อัตารอด (survival rate, SR; เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

ต้นทุนค่าอาหารปลา 1 กิโลกรัม (บาท)

= น้ำหนักวัตถุดิบอาหาร x ราคาวัตถุดิบอาหาร

การศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ก่อนการเริ่มทดลอง และ หลังสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง

เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารทั่วไป หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร ก่อนเริ่มการทดลอง

เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่หลังการทดลองจากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร หลังสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียม Crude enzyme extract

บดลำไส้ของปลานิล ด้วยเครื่อง Homogenizer เติม Phosphate buffer, pH 7 ลงในสำไส้ที่ทำการบด จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 30-60 นาที แยกเก็บส่วนใส (Supernatant) ของ Crude enzyme extract แบ่งเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหาร

วิธีหาค่า *In vitro* digestibility โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2002) นำเปลือกหอมหัวใหญ่มาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 20 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอนของวัตถุดิบ เติม Phosphate buffer, pH 7 40 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติม Chloramphenicol 0.5 เปอร์เซ็นต์ 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มใน Shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1.5 มิลลิลิตร (ชุดควบคุม) เติม Dialyzed crude enzyme extract จากปลานิล 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปบ่มใน Shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร นำไปต้มน้ำเดือดทันที เวลา 10 นาที แล้วแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

วิธีหาค่าความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการ DNS (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002) ผสมชุดควบคุมที่ละลายแล้วผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ เวลา 10 นาที ใช้ชุดควบคุม 250 ไมโครลิตร เติม DNS 1 เปอร์เซ็นต์ 250 ไมโครลิตร ละลายใน 2 M Sodium hydroxide และ Potassium sodium tartrate 0.6 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดเวลา 5 นาที พักให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 540 นาโนเมตร หาค่าปริมาณ Reducing sugar โดยเปรียบเทียบกับ Maltose standard curve วิธีคำนวณ แสดงหน่วยของค่า *In vitro* digestibility

ของคาร์โบไฮเดรตโดย µmol maltose/g feed/amylase activity ใช้ค่า Amylase activity ที่ใช้ในการย่อยไปหาร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

วิธีหาค่าความสามารถในการย่อยโปรตีน โดยวิธี TNBS (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002) ผสมชุดควบคุมที่ละลายแล้วให้เข้ากัน ใช้ชุดควบคุม 200 ไมโครลิตร เติม 50mM Phosphate buffer, pH 7 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติม TNBS 0.1 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ใน 50 mM Phosphate buffer, pH 7 ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติม Hydrochloric acid 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 420 นาโนเมตร หาค่าปริมาณ Free amino group โดยเปรียบเทียบกับ DL-Alanine standard curve วิธีคำนวณ แสดงหน่วยค่า *in vitro* digestibility ของโปรตีนโดย µmol DL-Alanine equivalent/g feed /trypsin activity (ใช้ค่า Trypsin activity ที่ใช้ในการย่อยไปหารเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ)

การศึกษาการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โปรติเอส ทริปซิน และ ไคโมทริปซิน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง

เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่หลังการทดลอง หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร หลังสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียม Crude enzyme extract

บดลำไส้ของปลานิล ด้วยเครื่อง Homogenizer จากนั้นเติม Phosphate buffer, pH 7 ลงในสำไส้ที่ทำการบด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 30-60 นาที แยกเก็บส่วนใส (Supernatant) ของ Crude enzyme extract แบ่งเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

วิธีหาค่ากิจกรรมจำเพาะของอะไมเลส

ศึกษาตามวิธีการของ Areekijseree et al. (2004) โดยดูด Starch 10 เปอร์เซ็นต์ 50 ไมโครลิตร เติม 10 mM Sodium chloride 150 ไมโครลิตร และ Phosphate buffer, pH 7 45 ไมโครลิตร เติม Crude enzyme extract 5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มใช้เวลา 5-10 นาที เช็คค่าการดูดกลืนแสงก่อน ถ้าค่าไม่ถึง 0.1 ต้องทำใหม่โดยเพิ่มเวลาขึ้น จากนั้นเติม DNS 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที พักให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในที่มืด จากนั้น เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Maltose

วิธีหาค่ากิจกรรมจำเพาะของโปรติเอส

ศึกษาตามวิธีการของ Areekijseree et al. (2004) โดยใช้ Azocasein 5 เปอร์เซ็นต์ 25 ไมโครลิตร เติม 0.2 M buffer, pH 7 225 ไมโครลิตร ผสมให้เข้าด้วยกัน เติม Crude enzyme extract 5 ไมโครลิตร ผสมให้เข้าด้วยกัน นำไปบ่มใช้เวลา 10 นาที เติม Trichloroacetic acid 10 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เพื่อหยุดปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดตะกอน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที ดูดส่วนใส่ 1 มิลลิลิตร ผสมกับ 1 M Sodium hydroxide 1.5 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 440 นาโนเมตร

วิธีหาค่ากิจกรรมจำเพาะของทริปซินและไคโมทริปซิน

วิธีเตรียม Specific substrates โดยเตรียมสารละลาย Bensoyl-L-arginine-p-nitroanilide (1.25 mM) สำหรับวิเคราะห์ Trypsin substrate หรือ N-Succinyl-ala-ala-pro-phe-p-nitroanitroanilide (0.10 mM) สำหรับวิเคราะห์ Chymotrypsin substrate ในสาร Dimethylformamide ก่อนโดยกำหนดให้ความเข้มข้นเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรด้วย 0.2 M Tris-HCl buffer, pH 7 สามารถเก็บ Substrates ได้ที่อุณหภูมิห้อง จะตกตะกอนเมื่อเก็บในตู้เย็น หยุดใช้ Substrates เมื่อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

วิธีศึกษา Enzyme activity โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2002) ดูด Crude enzyme extract 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในก้น Cuvette แล้วนำ Cuvette ไปใส่ในช่อง Spectrophotometer ที่ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการไว้แล้วโดยใช้ Substrates ของเครื่องวัด โดยดูด Pre-heated specific substrate 1 มิลลิลิตร ที่อุ่นไว้ที่อุณหภูมิที่ 50-60 องศาเซลเซียส ควรปิดหลอดในขณะที่อุ่น เพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ Substrate เปลี่ยนแปลง เติมลงในด้านข้างของ Cuvette จะช่วยทำให้ผสมกันได้ดีทันทีกับ Crude enzymes extract วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 410 นาโนเมตร โดยวัด Initial reaction ภายในเวลา 10 วินาที ถ้ามีเครื่องวัดธรรมดาให้จดค่าที่เวลา 1 2 4 6 8 และ 10 วินาที หาค่า Slope ของ Initial velocity ซึ่งจะแสดงเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 440 นาโนเมตรต่อวินาที สร้างกราฟระหว่างค่า เวลา แกน X โดยให้เริ่มต้นที่ 1 วินาที และค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 440 นาโนเมตร แกน Y เพื่อหาค่า Slope เปรียบเทียบกับ p-Nitroaniline standard curve เพื่อหาค่าปริมาณของ *p*-Nitroaniline ที่เกิดขึ้นต่อวินาที วิธีคำนวณแสดงหน่วยของค่ากิจกรรมจำเพาะของ Trypsin และ Chymotrypsin โดย µmol *p*-Nitroaniline ที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมงต่อมิลลิกรัมโปรตีน

วิธีหาค่าโปรตีน

ศึกษาตามวิธีการของ Lowry et al. (1951) โดยเตรียม Crude enzyme extract 100 ไมโครลิตร ผสมสาร A (Sodium carbonate 20 กรัม และ Sodium hydroxide 35 มิลลิลิตร) สาร B (Copper sulfate 1 กรัม) สาร C (Potassium sodium tartrate 2 กรัม) ในอัตราส่วน 100:1:1 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติม Folin 300 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เวลา 30 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 750 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย bovine serum albumin (BSA)

การศึกษาการสร้างภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

การเตรียมตัวอย่างเมือก

เก็บตัวอย่างปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่หลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ ตามวิธีการของ Wannavijit et al. (2022) โดยใช้ผ้าสะอาดเช็ดน้ำและเมือกบริเวณลำตัวให้สะอาด จากนั้นนำปลาใส่ถุงที่มีน้ำเกลือ 10 มิลลิลิตร แช่ปลาไว้เวลา 1-2 นาที ค่อยๆ ถูเอาเมือก แล้วนำปลาออกจากถุง แล้วเก็บเมือก 15 มิลลิลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บเมือก (ส่วนใสที่อยู่ด้านบน) เก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่างเลือด

เก็บตัวอย่างปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่หลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ ตามวิธีการของ Wannavijit et al. (2022) วางยาสลบปลาโดยใช้น้ำมันกานพลู นำใช้ผ้าสะอาดเช็ดน้ำและเมือกบริเวณลำตัวให้สะอาด จากนั้นเจาะเลือดจากเส้นเลือดส่วนหาง จากนั้นนำเลือดวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บซีรั่ม (ส่วนใสที่อยู่ด้านบน) ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส

วิธีหาค่าปริมาณไลโซไซม์

กิจกรรมของไลโซไซม์ในซีรัมและเมือกหลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้วิธีของ Parry et al. (1965) โดยใช้เซรั่ม 25 ไมโครลิตร ส่วนเมือก 100 ไมโครลิตร นำใส่ในเพลท 96 well เติม *Micrococcus lysodeikticus* 175 ไมโครลิตร (0.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน 0.1 M Citrate phosphate buffer, pH 5.8) ลงในแต่ละหลุม ผสมอย่างรวดเร็ว นำไปวัดค่าความขุ่นถูกวัดทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 5 นาที ที่ความยาวคลื่นที่ 540 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หน่วยกิจกรรมที่เทียบเท่าของตัวอย่างและเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน ซึ่งได้จากการลดลงของค่า OD เทียบกับความเข้มข้นของ Hen egg white lysozyme ตั้งแต่ 0-20 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร กิจกรรมแสดงเป็นหน่วย µg/ml serum

วิธีหาค่ากิจกรรมเปอร์ออกซิเดส

กิจกรรมเปอร์ออกซิเดสหลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตามวิธีการของ Quade and Roth (1997) โดยการเตรียม ซีรั่มหรือเมือกผิวหนัง 5 ไมโครลิตร ลงในเพลท 96 well จากนั้นเติม Hank's balanced salt solution (HBSS) ที่ไม่มี Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} 45 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย 100 ไมโครลิตร (น้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร Hydrogen peroxide 10 ไมโครลิตร , 3,3′,5,5′-tetramethylbenzidine 1 เม็ด) แล้วเติม 2 M Sulfuric acid 50 ไมโครลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสี และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร ให้ตัวอย่างที่ไม่มีเซรั่มหรือเมือกให้เป็นชุดควบคุม หนึ่งหน่วยถูกกำหนดให้เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงหนึ่ง และกิจกรรมแสดงเป็นหน่วย units (U) /mg serum or mucus proteins

วิธีหาค่าการแตกตัวของเม็ดเลือดแดง

การแตกตัวของเม็ดเลือดแดง (ACH50) หลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ โดยใช้ตามวิธีการของ Yano (1992) โดยใช้เซลล์เม็ดเลือดแดงของกระต่าย (R-RBC) นำมาล้างด้วย 0.01 M EGTA-Mg-GVB และปรับความเข้มข้นเป็น $2x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ดูด สารแขวนลอย 100 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่น 3.4 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของเม็ดเลือดแดงที่แตกที่ 414 นาโนเมตร เทียบกับน้ำกลั่นและให้มีค่าใกล้เคียง 0.740 สำหรับการทดสอบ ACH50 นำเซรั่ม 100 ไมโครลิตร เจือจางด้วย 0.01 M EGTA-Mg-GVB 400 ไมโครลิตร และเจือจางสองเท่า ดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แล้วเติม R-RBC 100 ไมโครลิตร ลงในแต่ละหลอด และบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ด้วยการเขย่าเป็นครั้งคราว หลังจากบ่ม เติมน้ำเกลือเย็น 3.15 มิลลิลิตร และนำปั่นเหวี่ยงที่ 1,600 รอบ เป็นเวลา 5 นาที ดูดส่วนเหนือตะกอนของการเจือจางแต่ละครั้ง 100 ไมโครลิตร ย้ายไปยังเพลท 96 well และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 414 นาโนเมตร จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของเม็ดเลือดแดง (เปรียบเทียบกับค่าการแตกตัวของเม็ดเลือดแดงสูงสุด) กับส่วนกลับของสัดส่วนการเจือจางซีรั่ม โดยใช้สเกล Log-Log เพื่อหาสัดส่วนการเจือจางของซีรั่มที่สามารถทำให้เม็ดเลือดแดงแตก 50 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธีการของ Turkey's Test

สถานที่ทำการวิจัย

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

องค์ประกอบที่สำคัญของเปลือกหอมหัวใหญ่และอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล

จากการศึกษาการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเปลือกหอมหัวใหญ่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ปริมาณเถ้า วิเคราะห์ปริมาณไขมัน วิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย และวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน จากการศึกษา มีผลได้ดังนี้ ปริมาณความชื้น 10.34±0.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 7.45±0.17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไขมัน 0.29±0.06 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเยื่อใย 7.80±0.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีน 6.85±0.76 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคาร์โบไฮเดรต 67.27±1.07 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8)

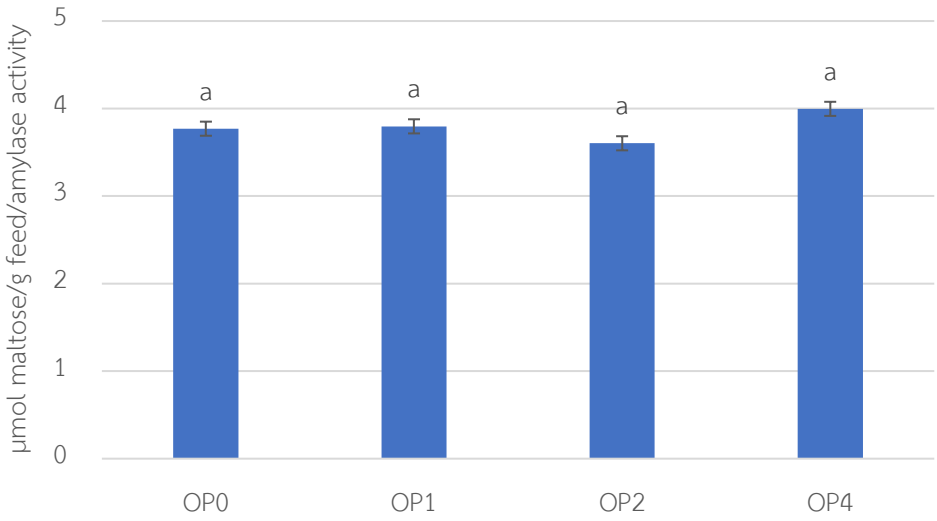
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์โภชนาการของเปลือกหอมหัวใหญ่ที่ใช้ในการผสมอาหารเลี้ยงปลานิล

พารามิเตอร์	ปริมาณ (%)
ความชื้น	10.34±0.25
เถ้า	7.45±0.17
ไขมัน	0.29±0.06
เยื่อใย	7.80±0.25
โปรตีน	6.85±0.76
คาร์โบไฮเดรต	67.27±1.07

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

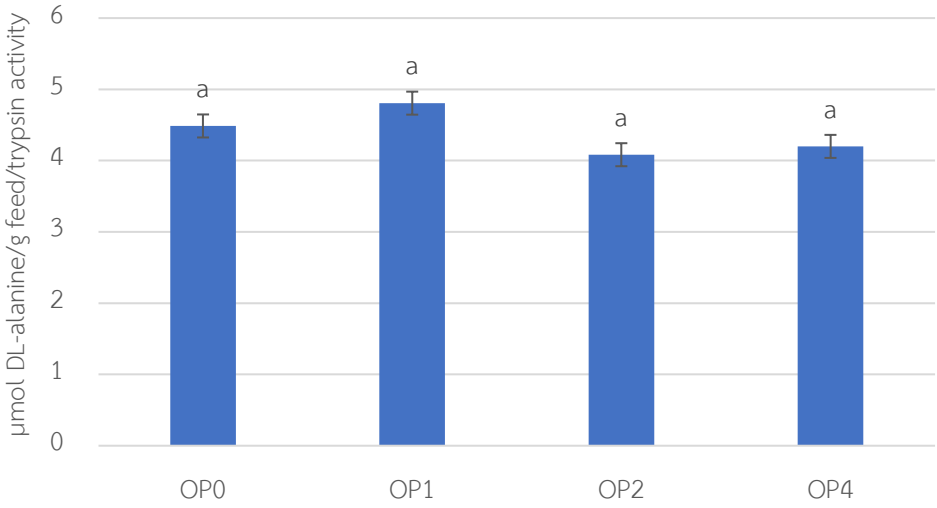
ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ก่อนการทดลอง

จากการศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ก่อนการทดลอง มีผลดังนี้ ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจากเอนไซม์ของปลานิล พบว่า ชุดการทดลอง OP4 มีค่า 4.00±0.18 µmol maltose/g feed/amylase activity ชุดการทดลอง OP1 มีค่า 3.80±0.06 µmol maltose/g feed/amylase activity ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 3.77±0.29 µmol maltose/g feed/amylase activity และชุดการทดลอง OP2 มีค่า 3.60±0.25 µmol maltose/g feed/amylase activity ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ก่อนเริ่มการทดลอง

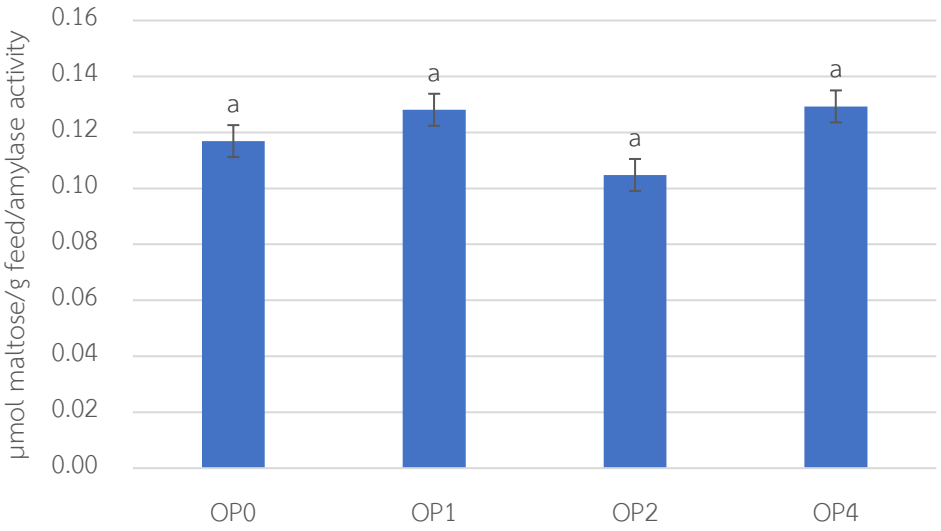
ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากเอนไซม์ของปลานิล ก่อนเริ่มการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP1 มีค่า 4.81±0.27 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 4.49±0.11 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ชุดการทดลอง OP4 มีค่า 4.20 ±0.32 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity และชุดการทดลอง OP2 มีค่า 4.08±0.20 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหาร 4 ชุดการทดลอง ก่อนเริ่มการทดลอง

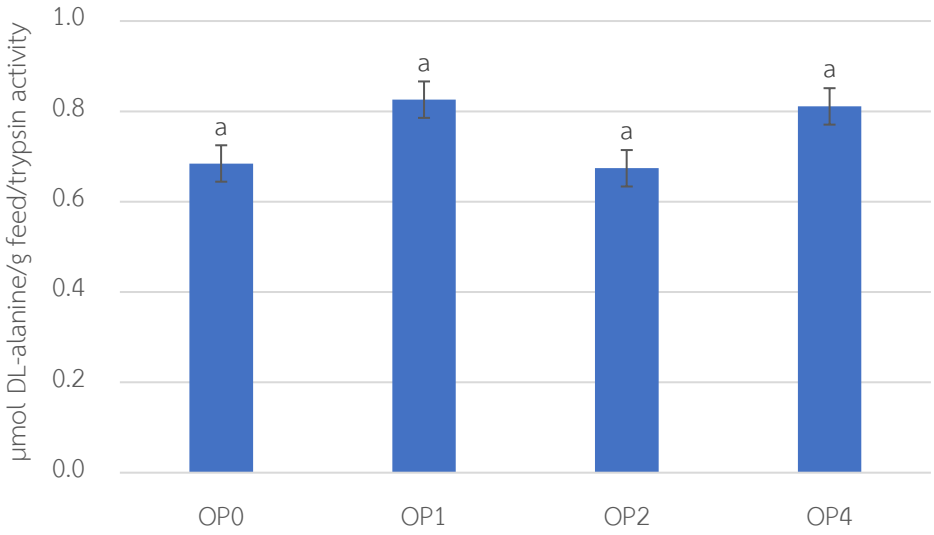
ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility หลังสิ้นสุดการทดลอง

การศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility หลังสิ้นสุดการทดลอง มีผลดังนี้ ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจากเอนไซม์ของปลานิล พบว่า ชุดการทดลอง OP4 และ OP1 มีค่า 0.13±0.03 µmol maltose/g feed/amylase activity ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.12±0.05 µmol maltose/g feed/amylase activity และชุดการทดลอง OP2 มีค่า 0.11±0.15 µmol maltose/g feed/amylase activity ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลอง

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากเอนไซม์ของปลานิล หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP1 มีค่า 0.83±0.22 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ชุดการทดลอง OP4 มีค่า 0.81±0.24 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.69±0.22 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity และชุดการทดลอง OP2 มีค่า 0.67±0.13 µmol DL-alanine/g feed/trypsin activity ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ความสามารถในการย่อยโปรตีนของเอนไซม์ย่อยอาหาร
จากลำไส้ของปลานิลในอาหาร 4 ชุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลอง

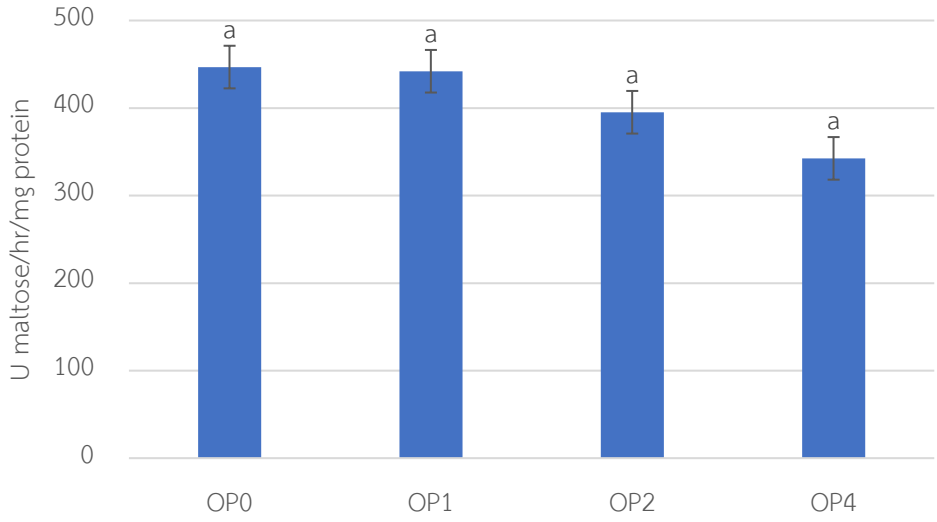
การศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิล โดยวิธี *In vitro* digestibility ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบอาหารได้ ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่ดี และสามารถตรวจสอบเพื่อคัดเลือกอาหาร และพัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยของสัตว์น้ำ สะดวก ใช้เวลาน้อย ค่าใช้จ่ายไม่แพง และเลือกใช้วัตถุดิบที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002) โดยตรวจสอบความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ด้วยวิธีการตรวจสอบคาร์โบไฮเดรตโดยการวัดค่าน้ำตาล Maltose และ การตรวจสอบโปรตีนโดยวัดค่ากรดอะมิโน DL-Alanine ในการศึกษา Thongprajukaew et al. (2013) ได้ศึกษาการใช้วิธีการ *In vitro* digestibility เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบอาหารที่มีคุณภาพดี นำมาสร้างสูตรอาหารให้เหมาะสมกับปลากัดที่มีอายุและเพศแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการ *In vitro* digestibility สามารถนำการตรวจสอบการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการทำให้โรงสร้างของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลง ทำให้ได้สูตรอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการดียิ่งขึ้นได้ด้วย (Thongprajukaew et al., 2011) และในขณะที่ โฉมอนันต์ และคณะ (2564) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบจากกล้วยด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย ด้วยวิธี *In vitro* digestibility โดยใช้วัตถุดิบทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยหอมสุก กล้วยไข่ดิบ และกล้วยไข่สุก ด้วยเอนไซม์จากลำไส้ของปลาหมอไทย พบว่า วัตถุดิบที่เอนไซม์ของปลาหมอไทยสามารถย่อยได้ดี และเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นอาหารปลาหมอไทย เนื่องจาก

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกับปลาป่น ปลายข้าว และกากถั่วเหลือง นอกจากนี้กล้วยยังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงน่าจะนำไปสร้างและปรับสูตรอาหารให้เหมาะสมกับปลาหมอไทย สุดาพร และดวงพร (2556) ได้ศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล ด้วยวิธีการ *in vitro* digestibility เพื่อคัดเลือกวัตถุดิบจำนวน 15 ชนิด ได้แก่ กากนมถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูลิน่า ปลาป่น ใบกระถิน ถั่วเขียว รำข้าว บริเวอร์ยีสต์ เมล็ดดอกทานตะวัน ถั่วลิสง ถั่วดำ สาหร่ายไส้ไก่ ถั่วแดงหลวง กากถั่วเหลือง มูลสุกรที่ผ่าการหมักแบบไร้อากาศ และปลายข้าว พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในบริเวอร์ยีสต์ และสามารถย่อยโปรตีนสูงสุดในปลายข้าว ส่วนเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัยมีเอนไซม์จากกระเพาะอาหารย่อยสาหร่ายไส้ไก่ได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ปลานิลเต็มวัยมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในกากนมถั่วเหลือง และสามารถย่อยโปรตีนได้สูงสุดในสาหร่ายไส้ไก่ และในการศึกษา จุลทรรศน์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลานิล ด้วยวิธี *in vitro* digestibility โดยใช้วัตถุดิบทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลายข้าว ข้าวโพด และรำ พบว่า เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลวัยอ่อนสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลืองได้ดีที่สุด เอนไซม์ย่อยอาหารจากปลานิลเต็มวัยสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในปลายข้าวได้ดีที่สุด และสามารถย่อยโปรตีนในรำได้ดีที่สุด จากการทดลองการศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ ก่อนการทดลองได้ใช้ปลานิลขนาดใหญ่ ขนาด 500 กรัมขึ้นไป ซึ่งปลาตัวใหญ่จะมีระบบการย่อยอาหารที่สมบูรณ์ สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนได้ดี ในขณะที่การศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังการทดลอง ปลานิลที่เลี้ยงมีขนาด ไม่เกิน 100 กรัม ซึ่งปลานิลมีขนาดเล็กจะมีระบบการย่อยอาหารที่ยังไม่สมบูรณ์ สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนยังไม่ดีเทียบเท่าปลาขนาดใหญ่ แสดงว่า ปลานิลที่ขนาดแตกต่างกัน มีการทำงานของเอนไซม์ที่แตกต่างกันด้วย จึงส่งผลให้ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังการทดลอง มีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนได้น้อยกว่าก่อนการทดลอง เนื่องจากยังมีระบบการย่อยอาหารที่ยังไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารจากลำไส้ของปลานิลในอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ มีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี ก่อนและหลังการทดลอง ตามลำดับ ความสามารถในการย่อยโปรตีนในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์ได้ดีที่สุดทั้งก่อนและหลังการทดลอง

การทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โปรติเอส ทริปซิน และไคโมทริปซิน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลส

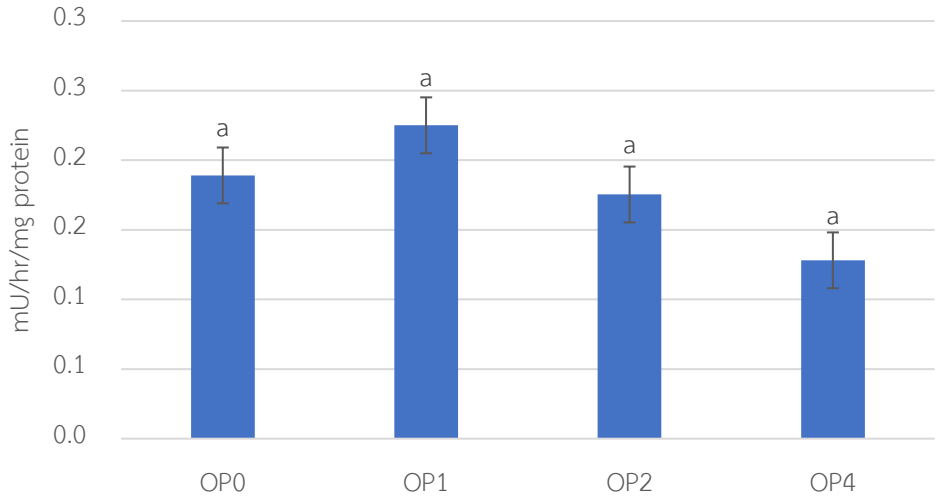
การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 446.84±72.81 U maltose/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP1 มีค่า 442.06±29.68 U maltose/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP2 มีค่า 395.19±45.64 U maltose/hr/mg protein และชุดการทดลอง OP4 มีค่า 342.51±58.05 U maltose/hr/mg protein ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง

กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์โปรติเอส

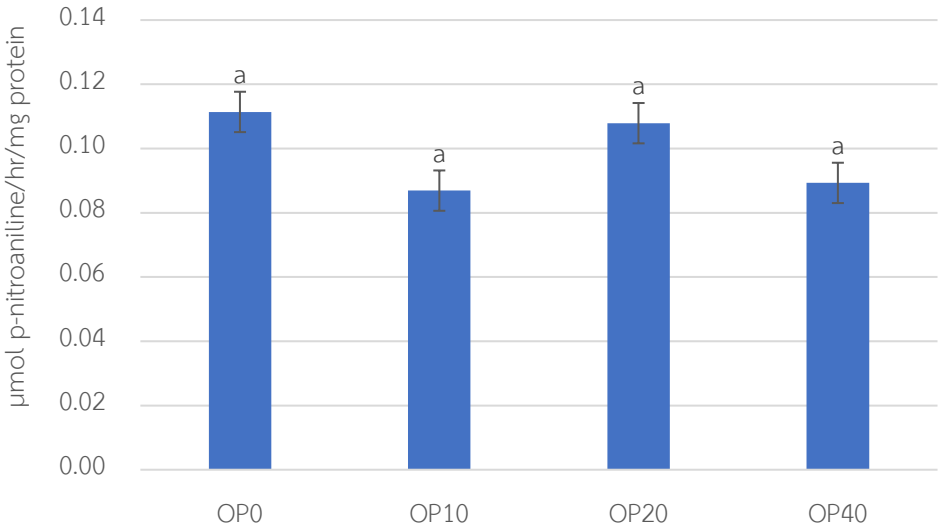
การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP1 มีค่า 0.23±0.03 mU/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.19±0.01 mU/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP2 มีค่า 0.18±0.03 mU/hr/mg protein และชุดการทดลอง OP4 มีค่า 0.13±0.02 mU/hr/mg protein ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสของปลานิล
ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง

กิจกรรมจำเพาะของทริปซิน

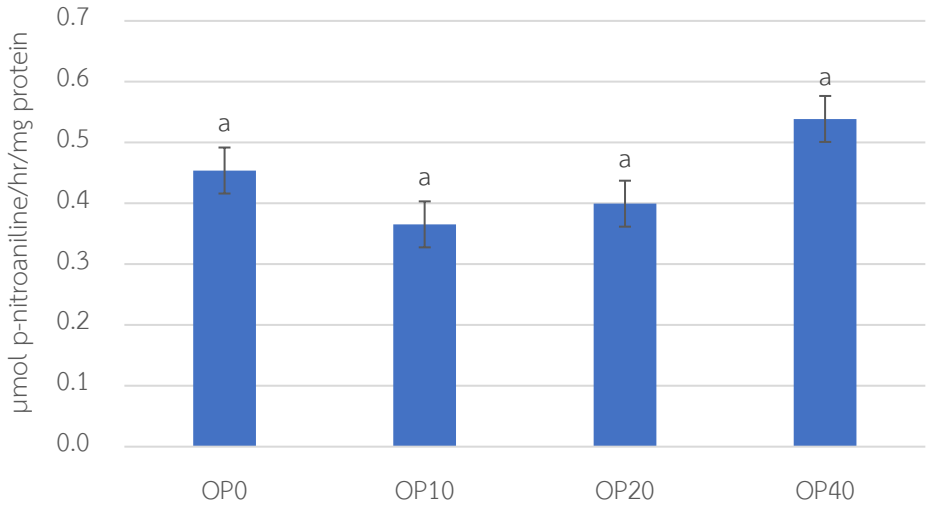
กิจกรรมจำเพาะของทริปซิน หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.11±0.03 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP2 มีค่า 0.11±0.04 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP4 และชุดการทดลอง OP1 มีค่า 0.09±0.02 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein และ 0.09±0.03 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 กิจกรรมการทำงานของทริปซินของปลานิล
ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง

กิจกรรมจำเพาะของไคโมทริปซิน

กิจกรรมจำเพาะของไซม์ไคโมทริปซิน หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลอง OP4 มีค่า 0.54±0.10 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.45±0.09 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ชุดการทดลอง OP2 ค่า 0.40±0.09 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein และชุดการทดลอง OP1 มีค่า 0.37±0.04 µmol *p*-nitroaniline/hr/mg protein ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 กิจกรรมการทำงานของไคโมทริปซินของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังสิ้นสุดการทดลอง

กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยอาหารที่ย่อยสารอาหารหลัก มีทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานและการเติบโตของสัตว์น้ำ เอนไซม์อะไมเลส เป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหลั่งออกมาจากเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เล็ก (การุน และอุทัยวรรณ, 2555) ส่วนเอนไซม์โปรติเอส เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเพปไทด์ของโปรตีน เพื่อนำกรดอะมิโนมาใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ในปลากินพืชการกระตุ้นการแสดงออกของอะไมเลส ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมการแสดงออกของโปรติเอสได้ โปรติเอสแต่ละชนิดมีความจำเพาะในการตัดสายพอลิเพปไทด์ในตำแหน่งที่ต่างกัน การแสดงออกของโปรติเอสมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุ และอิทธิพลของเพศที่เข้ามาเกี่ยวข้อง (Ma et al., 2005) จากการศึกษาของ รุ่งกานต์ และคณะ (2551) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิลที่ขนาดต่างๆ พบว่า ปลาขนาดเล็กกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสและไลเปสจะทำงานดีกว่าปลาขนาดใหญ่ และในทางตรงกันข้าม กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสจะทำงานได้ดีในปลาขนาดใหญ่ ปลาที่ขนาดต่างกันกิจกรรมและชนิดของเอนไซม์ก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจากผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐาน

ในการสร้าง และปรับปรุงสูตรอาหาร รวมถึงเลือกวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมในปลาแต่ละขนาด ทั้งด้านโภชนาการและราคา เพื่อผลิตปลานิลให้ได้คุณภาพ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตด้วย) ฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ บางชนิดมีผลในการป้องกันมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด การเปลี่ยนแปลงระบบทางเดินอาหาร และกลุ่มอาการที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท ทำหน้าที่ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การปรับการแสดงออกของยีน (ไซโตไคน์ โมเลกุลการยึดเกาะ) หรือกิจกรรมของเอนไซม์ (Pérez-Cano and Castell, 2016) ซึ่งในเปลือกหอมหัวใหญ่มีฟลาโวนอยด์ที่สูง ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อาจเป็นผลมาจากเปลือกหอมหัวใหญ่กระตุ้นการย่อยอาหารดีขึ้นทำให้ระยะเวลาการขนส่งอาหารลดลง Aluta et al. (2021) อย่างไรก็ตาม กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส และโปรติเอส ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถสร้างเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ใกล้เคียงกับอาหารชุดการทดลองควบคุม ซึ่งมีการสร้างเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต และมีการสร้างเอนไซม์ที่ช่วยย่อยโปรตีนได้ดี ในขณะที่ กิจกรรมของทริปซินและไคโมทริปซิน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 2 เปอร์เซ็นต์ สร้างเอนไซม์ทริปซินได้ดีใกล้เคียงกับอาหารการทดลองชุดควบคุม และสามารถสร้างเอนไซม์ทริปซินได้ดี (การุน และอุทัยวรรณ, 2555) กล่าวไว้ว่า การศึกษากิจกรรมของไคโมทริปซินจะต้องทำงานควบคู่กับทริปซินตั้งแต่ก่อนระยะฟักตัวถึงวัยเจริญพันธุ์ ซึ่งในการศึกษาในสัตว์น้ำการแสดงออกไคโมทริปซินมีผลต่อการเติบโตในทิศทางตรงกันข้ามกับทริปซิน โดยกิจกรรมของไคโมทริปซินจะมีค่าสูงในช่วงที่สิ่งมีชีวิตเติบโตช้าหรือถูกจำกัดโดยปัจจัยต่างๆ

การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ในอาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ มีผลดังนี้ น้ำหนักปลาเริ่มต้น 15.00 กรัมต่อตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลอง หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่สิ้นสุดการทดลอง หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ชุดการทดลอง OP1 และ OP2 มากที่สุด มีค่า 67.08±1.45 และ 64.04±58 กรัมต่อตัว ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 และ OP2 มากที่สุด มีค่า 52.07±1.45 และ 48.98±0.62 กรัมต่อตัว ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่

หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 และ OP2 มากที่สุด มีค่า 0.87±0.25 และ 0.82±0.01 กรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 และ OP2 มากที่สุด มีค่า 5.78±0.16 และ 5.42±0.09 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 ต่ำที่สุด มีค่า 1.19±0.01 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ประสิทธิภาพอาหาร หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 มากที่สุด มีค่า 0.84±0.00 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 มากที่สุด มีค่า 83.86±0.26 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตรารอด หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 10) จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Aluta et al. (2021) การเติมผงเปลือกหัวหอม ต่อการเจริญเติบโต เคมีในเลือด กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในตับ และการตอบสนอง SOD mRNA ของปลาดุก พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมผงเปลือกหัวหอมที่ระดับ 20 และ 60 กรัมต่อกิโลกรัม มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตจำเพาะ และอัตราการเปลี่ยนอาหารที่ดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Saleh et al. (2015) พบว่า กระเทียมและผงหัวหอม ที่ระดับ 30 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สามารถเพิ่มอัตรารอด การเจริญเติบโต และการใช้อาหารของปลากะพงขาว ในขณะที่การศึกษาของ Seden (2013) พบว่าในอาหารเสริมผงหัวหอม 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน มีการใช้โปรตีนที่ชัดเจน และการใช้พลังงานดีที่สุด และสามารถลดต้นทุนอาหารปลานิล

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	OP0	OP1	OP2	OP4
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (IW; กรัม)	15.00±0.00[a]	15.00.±0.00[a]	15.00±0.00[a]	15.00±0.00[a]
น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลอง (FW; กรัม)				
4 สัปดาห์	32.71±0.38[a]	32.21±1.02[a]	32.49±0.73[a]	32.11±0.49[a]
8 สัปดาห์	58.69±1.77[a]	67.08±1.45[b]	64.04±0.58[b]	59.18±0.63[a]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (WG; กรัม)				
4 สัปดาห์	17.55±0.37[a]	17.21±1.02[a]	17.43±0.76[a]	16.97±0.48[a]
8 สัปดาห์	43.53±1.18[a]	52.07±1.45[b]	48.98±0.62[b]	44.04±0.66[a]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (ADG; กรัม/วัน)				
4 สัปดาห์	0.59±0.01[a]	0.58±0.04[a]	0.59±0.03[a]	0.57±0.02[a]
8 สัปดาห์	0.73±0.20[a]	0.87±0.25[b]	0.82±0.01[b]	0.74±0.01[a]
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR; เปอร์เซ็นต์/วัน)				
4 สัปดาห์	3.86±0.81[a]	3.82±0.22[a]	3.86±0.18[a]	3.74±0.11[a]
8 สัปดาห์	4.79±0.13[a]	5.78±0.16[b]	5.42±0.09[b]	4.85±0.09[a]
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)				
4 สัปดาห์	1.22±0.02[a]	1.25±0.06[a]	1.23±0.04[a]	1.25±0.02[a]
8 สัปดาห์	1.43±0.03[c]	1.19±0.01[a]	1.27±0.01[b]	1.40±0.02[c]
ประสิทธิภาพอาหาร (FER)				
4 สัปดาห์	0.83±0.01 [a]	0.81±0.04 [a]	0.82±0.03 [a]	0.80±0.02 [a]
8 สัปดาห์	0.70±0.01[a]	0.84±0.00[c]	0.79±0.01[b]	0.71±0.01[a]
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCE)				
4 สัปดาห์	82.50±1.19[a]	80.87±3.85[a]	81.71±2.70[a]	79.87±1.49[a]
8 สัปดาห์	69.95±1.18[a]	83.86±0.26[c]	79.01±0.71[b]	71.56±0.89[a]
อัตรารอด (SR; เปอร์เซ็นต์)				
4 สัปดาห์	100±0.00 [a]	100±0.00 [a]	100±0.00 [a]	100±0.00 [a]
8 สัปดาห์	90.00±5.40[a]	93.75±2.39[a]	92.50±1.44[a]	78.75±7.18[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Turkey's Test

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

จากการศึกษาการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ ผลการทดลองพบว่า การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ในอาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ มีผลดังนี้ กิจกรรมของไลโซไซม์ของเมือก หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP2 มากที่สุด มีค่า 0.64±0.03 µg/ml ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กิจกรรมของไลโซไซม์ของซีรั่ม หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 มากที่สุด มีค่า 4.57±0.28 µg/ml ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของเมือก หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ในชุดทดลอง OP1 มากที่สุด มีค่า 0.14±0.01 µg/ml ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของซีรั่ม หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP2 มากที่สุด มีค่า 0.05±0.00 µg/ml ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การแตกตัวของเม็ดเลือดแดง (ACH50) หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ในชุดการทดลอง OP1 มากที่สุด มีค่า 1833.33±97.71 U/mg prot ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 10) การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ ผลการทดลองพบว่า การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังการทดลอง 4 และ 8 สัปดาห์ พบว่า การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันได้ดี ซึ่งเปลือกหอมหัวใหญ่อุดมไปด้วย ฟลาโวนอยด์ และเควอซิตินที่สูง (Park et al., 2007) ฟลาโวนอยด์ เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืช ปรับการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ส่งเสริมการตอบสนองของทีเซลล์ต่อต้านมะเร็ง ลดการเกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน (ROS) และยับยั้งการอักเสบ (Hoskin and Coombs, 2022) ส่วนเควอซิทิน สามารถปรับปรุงสุขภาพ และลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ ฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ต้านการอักเสบ ต้านไวรัส สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน การรวมตัวของเกล็ดเลือด และการซึมผ่านของเส้นเลือดฝอย และกระตุ้นการสร้างไมโตคอนเดรีย (Li et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Elgendy et al. (2022) ได้เสริมหัวหอมเพิ่มความต้านทานต่อโรคติดเชื้อรา (*Saprolegnia parasitica*) และความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันของปลานิลเลี้ยงในน้ำที่มีแคดเมียม

พบว่า อาหารเสริมหัวหอมมีคุณสมบัติกระตุ้นภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยง ป้องกันและควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราและช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากแคดเมียม ในขณะที่ การศึกษาของ (Cho and Lee, 2012) ได้เสริมผงหัวหอม 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารของปลาลิ้นหมามะกอก (*Paralichthys olivaceus*) มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการทำงานของไลโซไซม์ และผงหัวหอมมีสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่มีประสิทธิภาพ การลดอัตราการตาย จากการติดเชื้อ *Edwardsiella tarda* เช่นเดียวกับการศึกษา Akrami et al. (2015) แสดงให้เห็นว่าผงหัวหอมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับปรุงการเจริญเติบโต พารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยา และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของลูกปลาสเตอร์เจียนขาว

ตารางที่ 10 การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	OP0	OP1	OP2	OP4
กิจกรรมของไลโซไซม์ (µg/ml)				
เมือก				
4 สัปดาห์	0.48±0.04^{a}	0.58±0.04^{ab}	0.64±0.03^{b}	0.48±0.03^{a}
8 สัปดาห์	0.37±0.09^{a}	0.54±0.12 ^{a}	0.54±0.11^{a}	0.47±0.11^{a}
ซีรั่ม				
4 สัปดาห์	3.61±0.21^{a}	4.57±0.28^{b}	4.22±0.17^{ab}	3.61±0.15^{a}
8 สัปดาห์	3.49±0.38^{a}	4.85±0.69^{a}	4.58±0.51^{a}	3.78±0.54^{a}
กิจกรรมเปอร์ออกซิเดส (µg/ml)				
เมือก				
4 สัปดาห์	0.10±0.01^{a}	0.14±0.01^{b}	0.12±0.01^{ab}	0.11±0.01^{ab}
8 สัปดาห์	0.07±0.02^{a}	0.11±0.04^{a}	0.07±0.02^{a}	0.08±0.02^{a}
ซีรั่ม				
4 สัปดาห์	0.03±0.01^{a}	0.04±0.01^{ab}	0.05±0.00^{b}	0.03±0.01^{ab}
8 สัปดาห์	0.07±0.03^{a}	0.27±0.06^{b}	0.11±0.03^{a}	0.12±0.22^{a}
ACH50 (U/mg prot)				
4 สัปดาห์	705.21±127.34^{a}	1031.25±150.53^{a}	826.19±268.47^{a}	865.83±250.90^{a}
8 สัปดาห์	1169.27±201.73^{a}	1833.33±97.71^{b}	1466.27±264.92^{a}	1453.87±170.04^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Turkey's Test

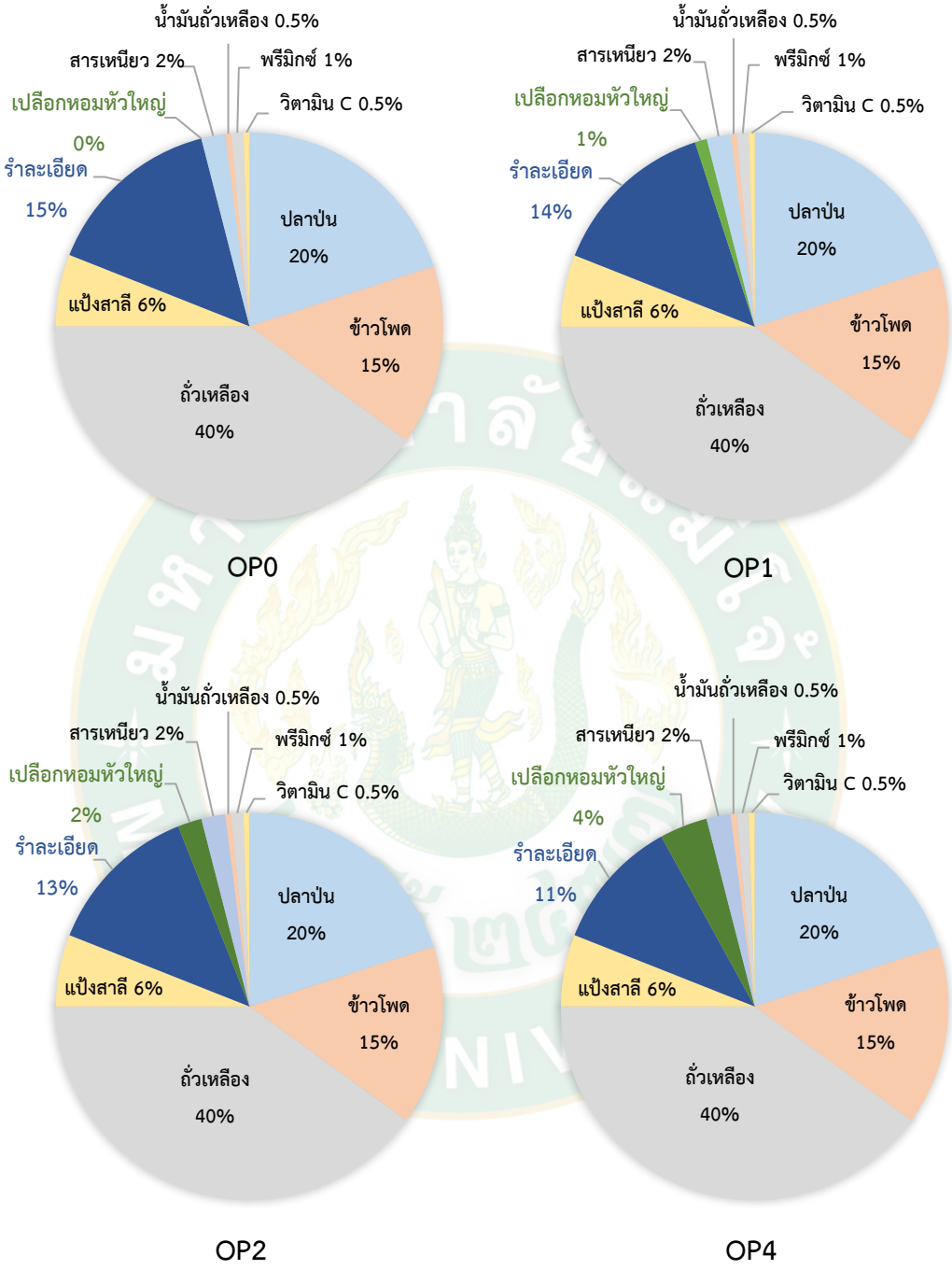
ต้นทุนผลิตอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

จากการศึกษาต้นทุนผลผลิตอาหารปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ในอาหารทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง มีผลดังนี้ ชุดการทดลอง OP0, OP1, OP2 และ OP4 มีต้นทุนการผลิตอาหาร ดังนี้ 38.20, 38.00, 37.80 และ 37.40 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าต้นทุนน้อยที่สุดในอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ ชุดการทดลอง OP4 เนื่องจากในสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน มีการใช้รำละเอียดและเปลือกหอมหัวใหญ่ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ภาพที่13) เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนของอาหารทดลองที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่งผลราคาต้นทุนของอาหารปลานิลที่ผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 ราคาต้นทุนของอาหารปลานิลที่ผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ (บาทต่อกิโลกรัม)

วัตถุดิบอาหาร	ชุดการทดลอง			
	OP0	OP1	OP2	OP4
ปลาป่น	8.00	8.00	8.00	8.00
ข้าวโพด	3.00	3.00	3.00	3.00
ถั่วเหลือง	16.00	16.00	16.00	16.00
แป้งสาลี	1.80	1.80	1.80	1.80
รำละเอียด	3.00	2.80	2.60	2.20
เปลือกหอมหัวใหญ่	0.00	0.00	0.00	0.00
สารเหนียว	2.00	2.00	2.00	2.00
น้ำมันถั่วเหลือง	0.40	0.40	0.40	0.40
พรีมิกซ์	1.60	1.60	1.60	1.60
วิตามิน C	2.40	2.40	2.40	2.40
ราคา	38.20	38.00	37.80	37.40

หมายเหตุ: OP0 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 0 เปอร์เซ็นต์
OP10 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์
OP20 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 2 เปอร์เซ็นต์
OP40 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์สัดส่วนวัตถุดิบอาหารปลานิลที่ผสมเปลือกหอมหัวใหญ่

ต้นทุนผลผลิตอาหารปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ชุดการทดลอง OP4 ต่ำที่สุด 37.40 บาทต่อกิโลกรัม จากการศึกษา ต้นทุนผลผลิตอาหารปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปใช้ในเชิงพานิชย์ได้ เนื่องจากใช้ปริมาณเปลือกหอมหัวใหญ่น้อย ปลานิลสามารถนำเปลือกหอมหัวใหญ่ไปใช้ประโยชน์ ทำให้มีระบบภูมิคุ้มกันที่เพิ่มขึ้น หลังจากทดลอง 4 สัปดาห์ จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น หลังจากทดลอง 8 สัปดาห์ เนื่องจากมีสุขภาพที่ดีส่งผลให้การเจริญเติบโตดีขึ้น และลดต้นทุนการผลิตอาหารให้ลดลงอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Seden (2013) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเสริมหอมหัวใหญ่ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และองค์ประกอบของร่างกายในปลานิล ความสามารถในการเกิดโรคจากการติดเชื้อ *Aeromonas hydrophila* โดยใช้ปลาขนาดเริ่มต้น 0.8 กรัม ระยะเวลาทดลอง 15 สัปหาด์ ให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8.11 เปอร์เซ็นต์ และระดับพลังงานในอาหาร 4.63 กิโลแคลอรีต่อกรัม เสริมผงหัวหอม ในอาหาร 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าในอาหารเสริมผงหัวหอม 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การใช้อาหาร และภูมิคุ้มกันของปลา และพบว่าสามารถลดต้นทุนอาหารสัตว์ 26.47 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดต้นทุนอาหารปลานิลได้ ในขณะที่การศึกษาของ นัฐธิดา และปรีดา (2566) ได้ศึกษาผลของการผสมกากมะพร้าวในอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตรารอดของปลานิลแดง พบว่าต้นทุนด้านอาหาร ในปลาที่ได้รับอาหารผสมกากมะพร้าว 9 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนน้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ 2.44 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็น 10.23 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า สามารถผสมกากมะพร้าวในอาหารสำหรับปลานิลแดงได้ถึง 9 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่สามารถลดต้นทุนอาหาร ทั้งนี้ในการพิจารณาถึงการนำวัตถุดิบอื่นๆ มาเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารสัตว์น้ำเพื่อลดต้นทุนนั้น การคำนวณดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านราคา ตามสภาวะทางเศรษฐกิจ และระดับโปรตีนที่กิจการนำมาใช้ในการเลี้ยงปลา แต่การนำไปใช้นั้นเกษตรกรที่นำไปใช้ควรคำนึงถึงต้นทุนค่าวัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนี้ด้วย รวมถึงการคำนึงถึงประสิทธิภาพด้วย (สุพัตรา และปวีนา, 2562)

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลานิลในอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ โดยวิธี *In vitro* digestibility พบว่า ความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี ก่อนและหลังการทดลอง ตามลำดับ ความสามารถในการย่อยโปรตีนในอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอสในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมทำงานดี ส่วนเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 2 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ทริปซินดีใกล้เคียงกับอาหารชุดการทดลองควบคุม

การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ หลังการทดลอง 4 สัปดาห์ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และในขณะที่หลังการทดลอง 8 สัปดาห์ ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ดีที่สุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 1 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ดีที่สุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่อัตรารอด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันได้ดี

ต้นทุนผลผลิตอาหารปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 4 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนน้อยที่สุด

ดังนั้น การศึกษาการใช้เปลือกหอมหัวใหญ่ผสมในอาหารเลี้ยงปลานิล 1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ความสามารถในการย่อยโปรตีน และการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเอส ยังส่งผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกันในปลานิล ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเสริมอาหารเลี้ยงปลานิล หรือสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาอาหารของสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการผลิตอาหารสัตว์น้ำต่อไป

2. การพัฒนาสูตรอาหาร โดยการคัดเลือกวัตถุดิบทดแทน สามารถใช้วิธี *In vitro* digestibility เพื่อในการคัดเลือกและปรับปรุงวัตถุดิบได้อย่างเหมาะสม เพื่อสร้างสูตรอาหาร ให้เกิดความคุ้มค่าและมีคุณภาพในการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

บรรณานุกรม

กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง. (**2564). รายงานผลการศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังจังหวัดสงขลา.** กรุงเทพฯ.

การุน ทองประจุแก้ว และ อุทัยวรรณ โกวิทวที. (2555). เอนไซม์ย่อยอาหารกับการพัฒนาอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, *22*(3), 710-720.

จุลทรรศน์ คีรีแลง วิโรจน์ มงคลเทพ ภานุพงศ์ ไชยเพียร และ สุดาพร ตงศิริ. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลานิลด้วยวิธี *in vitro digestibility* **รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก.

โฉมอนันต์ โพธิวงค์ ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล สุดาพร ตงศิริ และ ชนกันต์ จิตมนัส. (2564). ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบจากกล้วยด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย. **วารสารแก่นเกษตร**, *49*(3), 733-739.

ชนากาญจน์ ไชยา นคเรศ รังควัต พหล ศักดิ์คะทัศน์ และ สายสกุล ฟองมูล. (2558). ความต้องการวิธีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงปลานิลของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล ในอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. **รายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัยระดับชาติและนานาชาติ กลุ่มระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 6**, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพฯ.

ณรงค์ กมลรัตน์. (2560). การศึกษารูปแบบการให้อาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในกระชังแขวนในบอดิน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**, *19*(3), 80-87.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. (2557). **การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ**. [ระบบออนไลน์]. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20170120164106_file.pdf (23 ตุลาคม 2565)

นฤมล อัศวเกศมณี. (2549). **อาหารและการให้อาหารปลา**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ดนัย บุณยเกียรติ. (2562). **หอมหัวใหญ่**. [ระบบออนไลน์]. https://www.phtnet.org/wp-content/uploads/2020/12/onion.pdf (23 ตุลาคม 2565)

นิวุฒิ หวังชัย. (2549). **โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ**. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.

นัฐธิดา วัฒนบัญชา และ ปรีดา ภูมี. (2566). ผลของการผสมกากมะพร้าวในอาหารต่อการเจริญ เติบโต

และอัตรารอดของปลานิลแดง. **วารสารวิทยาศาสตร์ บูรพา**, 28(2), 882-893.

ประพฤติดี ปิยะวิริยะกุล. (2550). แนวคิดและการประยุกต์ทางวิทยาภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ. **การประชุมวิชาการทางสัตวแพทย์และการเลี้ยงสัตว์ ครั้งที่ 13**, โรงแรมโซฟิเทลเซ็นทารา กรุงเทพฯ.

เมฆ มากล้น กฤติมา กษมาวุฒิ และ สำเนาว์ เสาวกูล. (2564). ชนิดของอาหารที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนต่อการเลี้ยงปลาดุกยักษ์ในกระชังบก. **วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**, 2(1), 36-48.

รุ่งกานต์ กล้าหาญ นนทวิทย์ อารีย์ชน เรืองวิชญ์ ยุ้ยพันธ์ และ อรุณี อิงคากุล. (2551). กิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารในปลานิล (*Oreochromis niloticus*,L.) ที่ขนาดต่างๆ. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 2(2), 33-43.

วรรณชัย พรหมเกิด. (2557). การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายผมนางเพื่อเป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงปลานิล. **วารสารวิชชามหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช**, 33(1), 52-64.

สุพัตรา ตั้งวิเชียร และ ปวีนา กองจันทร์ (2562). การศึกษาแนวทางการลดต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในกระชัง กรณีศึกษากระชังปลานิล ในจังหวัดมหาสารคาม. **วารสารการจัดการธุรกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา**, 6(1), 51-64.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. (2536). **อาหารปลา**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำอุตรดิตถ์. (2562). **ประวัติ/ความเป็นมาของปลานิล**. [ระบบออนไลน์]. https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_blog2/1220/64289/2315 (23 ตุลาคม 2565)

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. (2553). **เอกสารคำแนะนำการเพาะเลี้ยงปลานิล**. [ระบบออนไลน์]. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200415152840_1 _file.pdf (23 ตุลาคม 2565)

สุดาพร ตงศิริ และ ดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2556). **การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบพื้นบ้านเพื่อการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลแบบลดต้นทุนและเป็นอาหารปลอดภัย**. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. (2538). **การเพาะขยายพันธุ์ปลา**. [ระบบออนไลน์]. https:// https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook27/ebook/20190051/#p=14 (23 ตุลาคม 2565)

Akrami, R., Gharaei, A., Mansour, M. R., and Galeshi, A. (2015). Effects of dietary onion (*Allium cepa*) powder on growth, innate immune response and hemato–biochemical parameters of beluga (*Huso huso Linnaeus*, 1754) juvenile. **Fish and shellfish immunology**, *45*(2), 828-834.

Alexander, J. B., and Ingram, G. A. (1992). Noncellular nonspecific defence mechanisms of fish. **Annual Review of Fish Diseases**, 2, 249-279.

Aluta, U. P., Aderolu, A. Z., Lawal, M. O., and Olutola, A. A. (2021). Inclusion effect of onion peel powder in the diet of African catfish, *Clarias gariepinus*: Growth, blood chemistry, hepatic antioxidant enzymes activities and SOD mRNA responses. **Scientific African**, 12, e00780.

Alvarez-Pellitero, P. (2008). Fish immunity and parasite infections: from innate immunity to immunoprophylactic prospects. **Veterinary immunology and immunopathology**, 126(3-4), 171-198.

AOAC. (1995). **Official methods of analysis of the Association of the Official Analysis Chemists.**

Aranishi, F., and Nakane, M. (1997). Epidermal proteases of the Japanese eel. **Fish Physiology and Biochemistry**, 16, 471-478.

Areekijseree, M., Engkagul, A., Kovitvadhi, S., Kovitvadhi, U., Thongpan, A., and Rungruangsak-Torrissen, K. (2006). Development of digestive enzymes and *in vitro* digestibility of different species of phytoplankton for culture of early juveniles of the freshwater pearl mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* Simpson, 1900. **Invertebrate Reproduction and Development**, 49(4), 255-262.

Areekijseree, M., Engkagul, A., Kovitvadhi, U., Thongpan, A., Mingmuang, M., Pakkong, P., and Rungruangsak-Torrissen, K. (2004). Temperature and pH characteristics of amylase and proteinase of adult freshwater pearl mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis)* bialatus Simpson 1900. **Aquaculture**, 234(1-4), 575-587.

Balcão, V. M., Paiva, A. L., and Malcata, F. X. (1996). Bioreactors with immobilized lipases: state of the art. **Enzyme and Microbial Technology**, 18(6), 392-416.

Boshra, H., Li, J., and Sunyer, J. (2006). Recent advances on the complement system of teleost fish. **Fish and shellfish immunology**, 20(2), 239-262.

Cho, S. H., and Lee, S. M. (2012). Onion powder in the diet of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*: effects on the growth, body composition, and lysozyme activity. **Journal of the World Aquaculture Society**, 43(1), 30-38.

Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Abdelsalam, M., El-Aziz, A., Tamer, H., Abo-Aziza, F., Osman, H. A., Authman, M., and Abbas, W. T. (2022). Onion *(Allium cepa*) improves Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resistance to saprolegniasis (*Saprolegnia*

parasitica) and reduces immunosuppressive effects of cadmium. **Aquaculture International**, 1-25.

Ellis, A. (2001). Innate host defense mechanisms of fish against viruses and bacteria. **Developmental and Comparative Immunology**, 25(8-9), 827-839.

Ewart, K., Johnson, S., and Ross, N. (2001). Lectins of the innate immune system and their relevance to fish health. **ICES Journal of Marine Science**, 58(2), 380-385.

Fillatreau, S., Six, A., Magadan, S., Castro, R., Sunyer, J. O., and Boudinot, P. (2013). The astonishing diversity of Ig classes and B cell repertoires in teleost fish. **Frontiers in Immunology**, 4, 28.

Fujita, T. (2002). Evolution of the lectin-complement pathway and its role in innate immunity. **Nature Reviews Immunology**, 2(5), 346-353.

Hoskin, D. W., and Coombs, M. R. (2022). Immune Modulation by Flavonoids. **Frontiers in Immunology**, 13, 899577.

Ingram, G. (1980). Substances involved in the natural resistance of fish to infection-a review. **Journal of Fish Biology**, 16(1), 23-60.

Jung, J. Y., Lim, Y., Moon, M. S., Kim, J. Y., and Kwon, O. (2011). Onion peel extracts ameliorate hyperglycemia and insulin resistance in high fat diet/streptozotocin-induced diabetic rats. **Nutrition and Metabolism**, 8(1), 1-8.

Kaur, M., Sandhu, K. S., and Lim, S.-T. (2010). Microstructure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*) cultivars. **Carbohydrate polymers**, 79(2), 349-355.

Kumar, M., Barbhai, M. D., Hasan, M., Punia, S., Dhumal, S., Rais, N., Chandran, D., Pandiselvam, R., Kothakota, A., and Tomar, M. (2022). Onion (*Allium cepa* L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. **Biomedicine and pharmacotherapy**, 146, 112498.

Le Xuan, C., Wannavijit, S., Outama, P., Lumsangkul, C., Tongsiri, S., Chitmanat, C., and Van Doan, H. (2022). Dietary inclusion of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in biofloc system: Impacts on growth, immunity, and immune-antioxidant gene expression. **Fish and shellfish**

immunology, 122, 215-224.

Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H., and Yin, Y. (2016). Quercetin, inflammation and immunity**. Nutrients**, 8(3), 167.

Lovell, T. (1989). **Nutrition and feeding of fish (Vol. 260)**. Van Nostrand Reinhold.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., and Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of biological chemistry**, 193, 265-275.

Ma, W., Tang, C., and Lai, L. (2005). Specificity of trypsin and chymotrypsin: loop-motion-controlled dynamic correlation as a determinant. **Biophysical journal**, 89(2), 1183-1193.

Marín, M. E. R. (2009). **Biological Activity and Nutritional Properties of Processed Onion Products**. Instituto del Frío Spanish National Research Council (CSIC)]. Spain.

Montoya-Mejía, M., García-Ulloa, M., Hernández-Llamas, A., Nolasco-Soria, H., and Rodríguez-González, H. (2017). Digestibility, growth, blood chemistry, and enzyme activity of juvenile *Oreochromis niloticus* fed isocaloric diets containing animal and plant byproducts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 46, 873-882.

NRC, N. R. C. (1993). **Nutrient requirements of fish**. In: Washington DC: National Acedemiy Press.

Park, J., Kim, J., and Kim, M. K. (2007). Onion flesh and onion peel enhance antioxidant status in aged rats. **Journal of nutritional science and vitaminology**, 53(1), 21-29.

Parry Jr, R. M., Chandan, R. C., and Shahani, K. M. (1965). A rapid and sensitive assay of muramidase. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, 119(2), 384-386.

Pastoret, P.-P., Griebel, P., Bazin, H., and Govaerts, A. (1998). **Handbook of vertebrate immunology**. Academic Press.

Pérez-Cano, F. J., and Castell, M. (2016). Flavonoids, inflammation and immune system. **Nutrients**, 8(10), 659.

Quade, M. J., and Roth, J. A. (1997). A rapid, direct assay to measure degranulation

of bovine neutrophil primary granules. **Veterinary immunology and immunopathology**, 58(3-4), 239-248.

Rombout, J. H., Taverne, N., van de Kamp, M., and Taverne-Thiele, A. J. (1993). Differences in mucus and serum immunoglobulin of carp (*Cyprinus carpio* L.). **Developmental and Comparative Immunology**, 17(4), 309-317.

Rungruangsak-Torrissen, K. (2018). **Biochemical techniques: development and implementation for making differences in aquaculture and fisheries research on environmental impact and climate change.** Nova Science Publishers, Inc.

Rungruangsak‐Torrissen, K., Rustad, A., Sunde, J., Eiane, S. A., Jensen, H. B., Opstvedt, J., Nygård, E., Samuelsen, T. A., Mundheim, H., and Luzzana, U. (2002). *In vitro* digestibility based on fish crude enzyme extract for prediction of feed quality in growth trials. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 82(6), 644-654.

Saleh, N. E., Michael, F. R., and Toutou, M. M. (2015). Evaluation of garlic and onion powder as phyto-additives in the diet of sea bass (*Dicentrarcus labrax*). **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, 41(2), 211-217.

Saurabh, S., and Sahoo, P. (2008). Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system. **Aquaculture research**, 39(3), 223-239.

Schwaiger, J., Wanke, R., Adam, S., Pawert, M., Honnen, W., and Triebskorn, R. (1997). The use of histopathological indicators to evaluate contaminant-related stress in fish. J**ournal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, 6, 75-86.

Seden, M. (2013). Effect of onion powder used as a feed additive on growth performance, feed utilization and whole body omposition of nile tilapia fingerlings challenged with pathogenic aeromonas *hydrophila.* **ABBASSA International Journal For Aquaculture**, 16(2), 389-406.

Shabir, I., Pandey, V. K., Dar, A. H., Pandiselvam, R., Manzoor, S., Mir, S. A., Shams, R., Dash, K. K., Fayaz, U., and Khan, S. A. (2022). Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilisation of onion peel for food applications: a review. **Sustainability**, 14(19), 11958.

Shephard, K. L. (1994). Functions for fish mucus. **Reviews in fish biology and fisheries,** 4, 401-429.

Sztrolovics, R., Wang, S., Lapierre, P., Chen, H., Robert, M.-F., and Mitchell, G. (1997). Hormone-sensitive lipase (Lipe): sequence analysis of the 129Sv mouse Lipe gene. **Mammalian genome,** 8, 86-89.

Takashima, F., and Hibiya, T. (1995). **An atlas of fish histology: normal and pathological features.**

Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, U., Kovitvadhi, S., Engkagul, A., and Rungruangsak-Torrissen, K. (2013). Evaluation of growth performance and nutritional quality of diets using digestive enzyme markers and *in vitro* digestibility in Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). **African Journal of Biotechnology,** 12(14).

Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, U., Kovitvadhi, S., Somsueb, P., and Rungruangsak-Torrissen, 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, 1-9.

Toda, H., Saito, Y., Koike, T., Takizawa, F., Araki, K., Yabu, T., Somamoto, T., Suetake, H., Suzuki, Y., and Ototake, M. (2011). Conservation of characteristics and functions of CD4 positive lymphocytes in a teleost fish. **Developmental & Comparative Immunology**, 35(6), 650-660.

Tort, L., Balasch, J., and Mackenzie, S. (2003). Fish immune system. A crossroads between innate and adaptive responses. **Inmunología**, 22(3), 277-286.

Tort, L., Balasch, J., and MacKenzie, S. (2004). Fish health challenge after stress. Indicators of immunocompetence. **Contributions to Science**, 2(4), 443-454.

Vojvodić Cebin, A., Šeremet, D., Mandura, A., Martinić, A., and Komes, D. (2020). Onion solid waste as a potential source of functional food ingredients. **Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering**, 15(3), 7-13.

Wannavijit, S., Outama, P., Le Xuan, C., Lumsangkul, C., Lengkidworraphiphat, P., Tongsiri, S., Chitmanat, C., and Van Doan, H. (2022). Modulatory effects of longan seed powder on growth performance, immune response, and immune-antioxidant related gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised under biofloc system. **Fish and shellfish immunology**,

123, 460-468.

Yano, T. (1992). Assay of hemolytic complement activity. **Techniques in fish immunology**, 131-141.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารซึ่งเป็นสิ่งแรกที่ต้องทราบ ความชื้นที่มีในวัตถุดิบหรืออาหาร ซึ่งการหาความชื้นจึงจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหาค่าตัวอย่างเปียกแล้วนำไปคำนวณกลับ การวิเคราะห์หาความชื้นของตัวอย่างอาหารทำได้หลายวิธี โดยวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุดคือ การทำให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปหลังจากที่ทำให้วัสดุแห้งแล้ว แต่ข้อเสียคือ วิธีนี้จะเป็นการยากที่จะทำให้ตัวอย่างอาหารแห้งสนิท โดยขณะทำให้แห้งอาจทำให้สารอาหารบางชนิดในตัวอย่างสูญสลายไปด้วย รวมถึงสารอื่นๆ ที่สามารถระเหยได้นอกจากน้ำก็จะสูญเสียไปด้วย

วิธีการ

1. นำขวดชั่งไปอบจนได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำเอามาชั่งน้ำหนัก และจุดน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
2. ตักตัวอย่างอาหารใส่ขวดซึ่งประมาณ 2-3 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักแล้วจดน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
3. นำขวดที่บรรจุด้วยอ่างอาหารไปอบในผู้ที่มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระหว่างอบจะต้องเปิดฝาขวดชั่ง
4. นำขวดออกจากตู้อบ แล้วนำไปใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็น ปิดฝาขวดชั่งแล้วนำไปชั่งงและจดน้ำหนักไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
5. คำวนวณหาเปอร์เซ็นต์ชื้น = $\frac{(ก - ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก = น้ำหนักขวดชั่งรวมตัวอย่างก่อนอบแห้ง
ข = น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบแห้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน
ค = น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์เถ้า

เถ้า คือ ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร หลังจากที่เผาผลาญสารอินทรีย์หมดแล้ว ในการวิเคราะห์มักใช้ความร้อนในการเผาผลาญสารอินทรีย์ ดังนั้น ค่าเถ้าที่ได้จึงไม่จำเป็นต้อง เท่ากับปริมาณสารเกลือแร่ทั้งหมดที่อยู่ในอาหารในตอนแรก สารอนินทรีย์หรือเกลือแร่บางส่วนจะสูญเสียไปโดยการระเหยเพราะความร้อนที่ใช้ในการเผานั่นเอง ค่าเถ้าที่ได้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของสารอาหารนั้นๆ

วิธีการ

1. ทำเครื่องหมายบนถ้วยกระเบื้องที่จะใส่ตัวอย่าง โดยอาจเขียนหมายเลขกำกับไว้ตามลำดับของ ตัวอย่างอาหาร นำตัวอย่างอาหารไปเผาในเตาอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
2. นำด้วยกระเบื้องที่เผาเรียบร้อยแล้วออกจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วนำไปตั้งให้เย็นในโถอบแห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
3. ตักตัวอย่างอาหารใส่ในถ้วยกระเบื้องประมาณ 1-2 กรัม ทำการชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้
4. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาบนแผ่นความร้อนในตู้ควันจนกระทั่งหมดควัน
5. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนเถ้ามีสีขาว นำถ้วยกระเบื้องที่เผาเรียนร้อยแล้วออกมาตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง เสร็จแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

*** หมายเหตุ** หากเถ้ายังไม่ขาว (แสดงว่ายังมีคาร์บอนเหลืออยู่) ให้นำถ้วยกระเบื้องมาตั้งทิ้งไว้ให้ เย็นบนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วหยดสารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต 4-5 หยด เพื่อให้เถ้าเกิดความชื้น จากนั้นนำไประเหยให้แห้งบนแผ่นความร้อน แล้วนำไปเผาต่อจนได้เถ้าสีขาว

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า $= \frac{(ก-ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมตัวอย่างหลังเผา
ข = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา
ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โปรตีน

การวิเคราะห์หาระดับโปรตีนในอาหาร ทำได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในสารอาหารนั้นๆ เนื่องจากไนโตรเจนในสารอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรตีน ซึ่งปกติในโปรตีนจะมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ 16 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนที่ได้จะต้องคูณด้วย 6.25 จึงจะได้เปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารที่นำมาวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทำได้โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารให้กลายเป็น $(NH_4)_2SO_4$ โดยนำตัวอย่างอาหารไปย่อยใน H_2SO_4 เข้มข้น จากนั้นเติมสารละลาย NaOH เข้มข้น เพื่อให้ไนโตรเจนเปลี่ยนไปอยู่ในรูป NH_3 แล้วนำมากลั่นเพื่อให้เกิดก๊าซ NH_3 ระเหยแยกออกมา โดยทำการจับก๊าซ NH_3 จุดนี้ด้วยสารละลาย H_2SO_4 ในปริมาณที่แน่นอนพร้อม indicator จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา titrate ด้วยสารละลาย

NaOH ที่ทำให้เป็นกลางด้วยปริมาณของที่ได้จากไนโตรเจนในอาหาร จากนั้นคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนได้ตามต้องการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาโปรตีน สามารถแยกออกเป็น 4 ขั้นตอน

1. O.M. + H_2SO_4 ⟶ $(NH_4)_2SO_4 + CO_2 + H_2O$ (digestion)
2. NaOH + $(NH_4)_2SO_4$ ⟶ $NH_3 + Na_2SO_4$ (distillation)
3. 2 NH_3 + H_2SO_4 ⟶ $(NH_4)_2SO_4$ (fixation)
4. H_2SO_4 + 2NaOH ⟶ $Na_2SO_4 + H_2O$ (titration)

วิธีการ

1. ทำการชั่งตัวอย่างอาหาร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บนกระดาษกรอง (โดยตัวอย่างอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงใช้ 0.5-1 กรัม และระดับโปรตีนต่ำใช้ 1-2 กรัม) แล้วห่ออาหารด้วยกระดาษกรองและพับใส่ Kjeldahl flask แล้วเติมสารเร่งปฏิกริยาประมาณ 2-3 ช้อน และลูกแก้ว 2 ลูก แล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน (โดยต้องทำ blank พร้อมกันไปด้วย)

2. ทำการย่อยตัวอย่างอาหารโดยนำ Kjeldahl flask ไปวางต่อกับเครื่องทำความร้อน เปิดเครื่องดูดอากาศของ hoot ให้ความร้อนน้อยๆ ก่อนจนลูกแก้วหยุดกระเด็นจึงให้ความร้อนเต็มที่ ระหว่างการย่อยให้ หมุน Kjeldahl flask เป็นครั้งคราว ทำการย่อยจนสารละลายมีสีเขียวใส

3. ปิดเครื่องทำความร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ Kjeldahl flask เย็น (หากบริเวณคอ Kjeldahl flask สีดำๆ เกาะติดอยู่ ให้ใช้น้ำกลั่นล้างลงไปแล้วย่อยต่อจนใสทิ้งไว้ให้เย็น) จากนั้นเติมกลั่นลงไป 500 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลาย H_2SO_4 (มาตรฐาน 0.1 N) จำนวน 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติม Screened methyl red indicator 4 หยด นำมาต่อเข้ากับปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายของท่อกลั่นจุ่มในสารละลาย เปิดน้ำผ่านเครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น

5. นำ Kjeldahl flask ที่ย่อยแล้วมาเติมสารละลาย NaOH (เข้มข้น 45%) จำนวน 80 มิลลิลิตร โดยเติมลงไปช้าๆ แล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที เขย่าเป็นรูปวงกลมให้สารละลายเข้ากัน

6. เปิดเครื่องทำความร้อนของเครื่องกลั่น จนแอมโมเนียกลั่นออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเลื่อนขวดรูปชมพู่ออกจากปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายท่ออยู่เหนือสารละลาย ใช้น้ำกลั่นล้างปลายท่อ จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ออก แล้วใส่ขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงไปแทน (เพื่อให้เครื่องกลั่นดูดทำความสะอาดเอง) ปิดเครื่องทำความร้อนเฉพาะเตา

7. นำสารละลายที่ได้ (สีไวน์แดง) มาไตเตรตกับสารละลาย NaOH (มาตรฐาน 0.1 N) จนสารละลายเป็นสีเขียวใส

8. การคำนวณ

NaOH จำนวน 1 ml. มาตรฐาน 0.1 นอร์มอล ทำปฏิกิริยาได้พอดีกับไนโตรเจน 0.014 กรัม

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน = $\frac{(ข - ก) \times 0.014 \times ค \times 100}{ง}$

เมื่อ ก = มิลลิลิตรของ NaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจากตัวอย่าง

ข = มิลลิลิตรของ NaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจาก Blank

ค = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH มาตรฐานที่ใช้

ง = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ crude protein = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน x 6.25

การวิเคราะห์ไขมัน

การวิเคราะห์หาไขมัน (ether extract หรือ crude Fat) สามารถทำได้ด้วยการสกัดตัวอย่างอาหาร โดยใช้ตัวทำละลายไขมันที่เป็นสารละลายประเภท organic solvent ตัวใดตัวหนึ่งเช่น petroleum ether, hexane, dichloromethane และ benzene เป็นต้น โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า Soxhlet extract ต่อเข้ากับระบบ เครื่องทำความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser) แต่ต้องเปิดระบบน้ำไว้เพื่อช่วยให้เกิดการควบแน่น ซึ่งอุปกรณ์ครบชุดทั้งหมดนี้เรียกว่า extraction apparatus โดยส่วนของสัตว์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำ ละลายได้แก่ fat, oils และ waxes ส่วนในพืช carotene, chlorophyll และ sterol

วิธีการ

1. นำขวดก้นแบนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำขวดก้นแบบที่อบแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้ (เขียนหมายเลขกำกับ)
2. ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัม บนกระดาษกรองและจดบันทึกน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ทำการห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ลงใน thimble แล้วปิดด้วยสำลีบางๆ นำ thimble ไปใส่ใน Soxhlet และต่อ Soxhlet เข้ากับเครื่องควบแน่น
3. เติม petroleum ether, hexane, dichloromethane โดยเลือกใช้ตัวใดตัวหนึ่ง เติมลงขวดกันแบน ประมาณ 2 ใน 3 ของขวด นำมาต่อเข้ากับ Soxhlet และเครื่องให้ความร้อน
4. เปิดระบบน้ำให้ผ่านเครื่องควบแน่น และเปิดเครื่องให้ความร้อน ใช้ความร้อนประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสกัดเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง
5. ทำการถ่ายสารละลายออกจาก Soxhlet โดยให้เหลือสารละลายอยู่ในขวดกันแบนให้น้อยที่สุด และถอด Soxhlet ออกจากขวดก้นแบนและเครื่องควบแน่น วางขวดกันแบนไว้บนแผ่นความร้อนจนเกือบแห้งสนิท

6. นำขวดก้นแบนมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำขวดก้นแบนที่อบเรียบร้อยแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

7. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(\text{ข} - \text{ก}) \times 100}{\text{ค}}$$

เมื่อ ก = น้ำหนักขวดก้นแบน

ข = น้ำหนักขวดก้นแบนหลังสกัดไขมันและอบแห้ง

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การวิเคราะห์เยื่อใย

การวิเคราะห์หาเยื่อใยของวัตถุดิบสามารถทำได้โดยการต้มตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที เมื่อต้มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วให้นำตัวอย่างไปกรองจนแห้งสนิท จากนั้นนำกากตัวอย่างที่ได้มาต้มอีกครั้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมากรองอีกครั้งแล้วนำกากที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ ซึ่งน้ำหนักที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใย โดยส่วนที่หายไปนั้น คือเยื่อใยหยาบ (crude fiber) ซึ่งประกอบด้วย hemicellulose, cellulose และ lignin

วิธีการ

1. นำถ้วยแก้วกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักของถ้วยแก้วกรองที่แน่นอน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาวางให้เย็นในโถอบแห้ง

2. ทำการชั่งน้ำหนักด้วยแก้วกรอง โดยจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างอาหารที่วิเคราะห์ใส่ลงในถ้วยแก้วกรองชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. นำด้วยแก้วกรองไปต่อเข้ากับเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser) แล้วจึงท่า การเติมกรด H_2SO_4 (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ condenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านเครื่องควบแน่น แล้วทำการเปิดเครื่อง ทำการต้มตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลายเดือด) เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

4. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่าง ถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนหมดกรด) แล้วจึงทำการปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่ม vacuum ไปที่ closes

5. เติมด่าง NaOH (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ condenser ทำการต้มตัวอย่างด้วยด่าง NOH (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลาย เด) เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

6. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่าง ถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนหมดต่าง) และล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง แล้วใช้แอลกอฮอล์หรืออะซิโตนล้างอีก 1 ครั้ง เพื่อไล่น้ำออกไป จากนั้นปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่ม vacuum ไปที่ closes

7. นำถ้วยแก้วกรองออกจากเครื่องกรองโดยปรับคันโยก (ระวังอย่าให้ถ้วยแก้วกรองหล่นโดยการใช้แผ่นเหล็กบังก่อน) จากนั้นใช้คีมจับออกมา นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำมาวางทิ้งไว้ให้เห็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

8. จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-400 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในกระเบื้องเคลือบก่อนแล้วเก็บไว้ในโถอบแห้งจนเย็น ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้

9. การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย = $\frac{(ก - ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก = น้ำหนักถ้วยแก้งกรอง + กากหลังอบ

ข = น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง + กากหลังอบและหลังเผา

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (คาร์โบไฮเดรต)

คำนวณ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (คาร์โบไฮเดรต) = 100 - ก - ข - ค - ง - จ

เมื่อ ก = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง

ข = เปอร์เซ็นต์เถ้าของตัวอย่าง

ค = เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตัวอย่าง

ง = เปอร์เซ็นต์ไขมันของตัวอย่าง

จ = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์เถ้า

การวิเคราะห์ไขมัน

การวิเคราะห์เยื่อใย

การวิเคราะห์โปรตีน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล อรอนงค์ ทับทิม

เกิดเมื่อ 3 กันยายน 2538

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2561 วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

พ.ศ. 2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแม่ริมวิทยาคม เชียงใหม่

ประวัติการทำงาน -

Email ornanong3938@gmail.com