ผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

โฉมอนันต์ โพธิวงค์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

โฉมอนันต์ โพธิวงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

โฉมอนันต์ โพธิวงค์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

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

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมลักษณ์ สมพงษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

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

ชื่อเรื่อง ผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหาร การเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

ชื่อผู้เขียน นางสาวโฉมอนันต์ โพธิวงค์

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส

บทคัดย่อ

ปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) เป็นปลาที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทย เนื่องจากเลี้ยงง่าย โตไวและเป็นที่ต้องการของตลาด จึงต้องการพัฒนาอาหารต้นทุนต่ำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อจะศึกษาผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอ โดยใช้วัตถุดิบในการทำอาหารคือ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว ผสมกับกล้วย แบ่งเป็น 3 สูตรดังนี้ อาหารผสมกล้วยไข่ อาหารผสมกล้วยน้ำว้า และอาหารผสมกล้วยหอม เพื่อใช้เป็นอาหารให้ปลาหมอไทย แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ เลี้ยงปลานาน 120 วัน พบว่า เอนไซม์ของปลาหมอไทยมีประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบได้ดีและเหมาะสมในการนำวัตถุดิบ คือ กล้วยไข่สุก กล้วยน้ำว้าสุก และกล้วยหอมดิบ มาผลิตเป็นส่วนผสมของอาหารปลาหมอไทย อาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้ามีค่ากิจกรรมของอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซิน (T/C ratio) สูงที่สุด จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า อาหารทุกกลุ่มทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใยและไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ปลาหมอไทยทุกกลุ่มทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยปลาหมอในกลุ่มควบคุมมีค่าอัตรารอดสูงที่สุดและมีผลผลิตสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามผลผลิตปลาในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกล้วยไข่มีค่าต่ำที่สุด ($P<0.05$) ต้นทุนผลผลิตและอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนในแต่ละกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) พบว่า กลุ่มปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยน้ำว้ามีการตอบสนองด้านภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ โดยวัดจากเปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์สูงที่สุด จากการศึกษาพบว่า อาหารที่ผสมกล้วยต่างชนิดสามารถนำมาใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ นอกจากนี้กล้วยยังเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงน่าจะนำไปสร้างและปรับสูตรอาหารให้เหมาะสมกับปลาหมอไทยทั้งด้านโภชนาการและราคา

คำสำคัญ : ปลาหมอไทย, กล้วย, อาหารปลา, in vitro digestibility

Title EFFECTS OF THE DIFFERENCE NUTRITIONAL VALUES OF BANANAS (*Musaceae*) ON DIGESTIBILITY, GROWTH PERFORMANCE AND NON-SPECIFIC IMMUNE IN *Anabas testudineus*

Author Miss chomanan potiwong

Degree Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Chanagun Chitmanat

ABSTRACT

Climbing perch (*Anabas testudineus*) is one of the most popular local freshwater fish cultured in Thailand. Because of easy-to-raise, fast growing and high demand of the market, the low-cost feed has been developed for the benefit of farmers. The purpose of this research was to study the effects of different nutrition in each banana on the growth performances of climbing perch. Feed ingredients included fish meal, soybean meal, broken rice and rice bran. These common feed ingredients were mixed with bananas and divided into 3 formulas as follows golden banana, cavendish banana, and cultivated banana. There were four treatments (3 replications/ treatment). Fish were reared for 120 days. All experimental feeds were significant differences (P <0.05) in moisture, ash, protein, fat, fiber, and nitrogen free extract. The suitable feed ingredients for the climbing perch based on its digestibility were ripe golden banana, ripe cultivated banana, and raw cavendish banana. The ratio between the activity of the enzyme trypsin. and chymotrypsin (T / C ratio) of the feed containing cultivated banana was the highest. The climbing perch fish in all experimental groups showed no statistical differences (P> 0.05) in weight gain, weight per day and specific growth. The control group were highest survival rates and production (P <0.05). The lowest production was found in fish fed with golden banana additional diet. The cost of production and the rate of return were not statistically different (P < 0.05). Fish fed with cultivated banana had a significantly

higher (P <0.05) in percent phagocytosis, one of the non-specific immunity. Since banana has relatively low cost and easily available, it could be used to formulate and improve climbing perch feed in terms of both nutrition and price.

Keywords : Climbing perch (Anabas testudineus), Bananas, Feed, in vitro digestibility

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกันต์ จิตมนัส ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นิวุฒิ หวังชัย กรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความเมตตากรุณา ช่วยเหลือสนับสนุนและให้คำแนะนำกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ทั้งสละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล ผู้ให้ความเมตตากรุณาช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านทุนทรัพย์ คอยให้คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจ จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งกานต์ กล้าหาญ สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผู้ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านในคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องที่ให้การเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา ให้การสนับสนุนทั้งด้านการเรียนและการดำเนินชีวิต ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเป็นกำลังใจที่ดี จนทำให้ผู้เขียนประสบความสำเร็จในการศึกษา

โฉมอนันต์ โพธิวงค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

จุดประสงค์ของการศึกษา 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร 4

ปลาหมอไทย 4

ลักษณะรูปร่าง 5

อาหารและนิสัยการกินอาหาร 5

ความแตกต่างระหว่างเพศและอัตราส่วนเพศ 5

การเพาะเลี้ยงปลาหมอไทย 6

แนวโน้มการเลี้ยงปลาหมอไทยในอนาคต 6

ความสำคัญและชนิดของอาหารสัตว์น้ำ 7

ความสำคัญของโภชนาการอาหารอื่น ๆ 9

วัตถุดิบอาหารสัตว์ 9

ปลาป่น (fish meal) 9

กากถั่วเหลือง (soybean meal).....10
รำข้าว (rice bran).....10
ปลายข้าว (broken rice).....11
กล้วย.....11
1. การเจริญของผลกล้วย.....12
2. โครงสร้างของเนื้อเยื่อผลกล้วย.....12
3. องค์ประกอบของผลกล้วย.....14
4. ประโยชน์และความสุกของกล้วย.....17
กล้วยน้ำว้า.....18
กล้วยไข่.....19
กล้วยหอม.....20
การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำในหลอดทดลอง.....21
ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (protein digestibility).....21
เอมไซม์ย่อยอาหาร.....23
1. เอมไซม์ amylase.....23
2. เอนไซม์ lipase.....23
3. เอมไซม์ trypsin.....24
4. เอมไซม์ chymotrypsin.....25
ระบบภูมิคุ้มกันของปลา.....25
องค์ประกอบของระบบภูมิคุ้มกันในปลา.....26
ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน.....26
ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะในปลาประกอบด้วย.....27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....31

อุปกรณ์ 31
วิธีการทดลอง 31
1. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร 31
2. *In vitro* digestibility 32
3. ศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกล้วยต่างชนิดกัน 35
4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ 38
5. การตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของปลาหมอไทย 38
การวิเคราะห์ทางสถิติ 39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 40
การวิเคราะห์โภชนาการของกล้วยและสูตรอาหารที่ผสมกล้วยต่างชนิดที่ใช้ในเลี้ยงปลาหมอไทย 40
ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย 42
กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) และไคโมทริปซิน (chymotrypsin) 44
กิจกรรมของอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซิน (T/C ratio) 45
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิด 46
คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาหมอไทยกระชังในบ่อดิน 48
ผลของสูตรอาหารที่ผสมจากกล้วยต่างชนิดต่อค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว 49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 51
สรุปผลการศึกษา 51
ข้อเสนอแนะ 52
บรรณานุกรม 53
ภาคผนวก 60
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร 61

ภาคผนวก ข *In vitro* digestibility 71
ภาคผนวก ค การตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของปลาหมอไทย 77
ภาคผนวก ง งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแร่ และผลงานทางวิชาการ 79
ประวัติผู้วิจัย 81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของผลกล้วยสุก 100 กรัม 14

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้าในส่วนที่กินได้ 100 กรัม.....18

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม 19

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมในส่วนที่กินได้ 100 กรัม.....20

ตารางที่ 5 ปัจจัยและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอาหาร.....31

ตารางที่ 6 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง.....36

ตารางที่ 7 ปัจจัยและวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ 38

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์โภชนาการของกล้วยที่ใช้ในการผสมอาหารเลี้ยงปลาหมอไทย.....41

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์โภชนาการของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลาหมอไทย 42

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโต ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมกล้วยต่างชนิด เป็นระยะเวลา 120 วัน.....47

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมกล้วยต่างชนิดกันเป็นระยะเวลา 120 วัน 48

ตารางที่ 12 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแต่ละจุด 49

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปลาหมอไทย 4

ภาพที่ 2 โครงสร้างเอนไซม์ amylase 23

ภาพที่ 3 โครงสร้างเอนไซม์ lipase 24

ภาพที่ 4 โครงสร้างเอนไซม์ trypsin 25

ภาพที่ 5 โครงสร้างเอนไซม์ chymotrypsin 25

ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหาร โดยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลาหมอไทย 42

ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลาหมอไทย 43

ภาพที่ 8 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ trypsin และเอนไซม์ chymotrypsin 45

ภาพที่ 9 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ T/C ratio ของอาหารผสมกล้วยต่างชนิด 46

ภาพที่ 10 เปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์ของปลาหมอไทยหลังได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิด 50

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ เพราะเป็นที่ต้องการบริโภคอย่างแพร่หลาย จากรายงานในปี พ.ศ. 2560 ผลผลิตปลาหมอไทยทั้งหมด 277 ตัน คิดเป็นมูลค่า 423.7 ล้านบาท (กรมประมง, 2562) สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู อีกทั้งยังเป็นปลาที่มีความทนทานสูง เพราะมีอวัยวะพิเศษช่วยหายใจ (labyrinth organ) จึงอาศัยอยู่ได้ในบริเวณที่มีน้ำน้อยหรือที่ชุ่มชื้นได้เป็นเวลานาน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตส่วนใหญ่ได้จากการเพาะเลี้ยง (กรมประมง, 2550)

ปัจจุบันเกษตรกรนิยมเลี้ยงปลาหมอไทยกันมากขึ้น เพราะปลาหมอไทยเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ทนต่อโรค และสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้ปลาหมอไทยมีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว นอกเหนือจากคุณภาพน้ำแล้ว อาหารที่ใช้เลี้ยงยังเป็นปัจจัยสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากปลาหมอไทยเป็นปลาที่กินเนื้อ ในการเลี้ยงปลาหมอไทยอายุประมาณ 1-2 เดือน ส่วนใหญ่นิยมให้อาหารสำเร็จรูป (กี, 2552) ซึ่งต้นทุนการผลิตที่สำคัญของธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือต้นทุนค่าอาหาร อยู่ที่ 50-70% ของต้นทุนทั้งหมด การจัดการที่ดี สามารถช่วยลดต้นทุนนี้ได้ (De Silva et al., 1986) การเลี้ยงปลาหมอในครั้งนี้ จึงให้อาหารปลาดุกสำเร็จรูปเป็นชุดควบคุม เพราะสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีคุณค่าอาหารตรงตามความต้องการระดับโปรตีนของปลาหมอไทย และแนวโน้มในอนาคตคาดว่า ราคาอาหารที่จำหน่ายจะมีราคาสูงขึ้นอีกเนื่องจากกำลังการผลิตปลาป่นที่เป็นแหล่งอาหารที่แพงที่สุดจะมีปริมาณลดน้อยลงจากการนำทรัพยากรสัตว์น้ำจากทะเลขึ้นมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความพยายามในการหาวัตถุดิบอื่น ๆ มาใช้เพื่อลดต้นทุนในอนาคต

ปลาหมอไทยเป็นปลาที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous) สามารถใช้แหล่งอาหารโปรตีนจากวัตถุดิบที่หลากหลาย วัตถุดิบที่มีศักยภาพที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของอาหารปลาได้แก่ กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า การที่ใช้กล้วยมาเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่จะมีการปลูกกล้วยไว้ตามบ้าน บ่อปลา หรือร่องสวนอยู่แล้ว อาจจะปลูกไว้เพื่อจำหน่ายหรือรับประทานเอง อย่างไรก็ตามกล้วยบางส่วนอาจจะมีการช้ำระหว่างการเก็บเกี่ยว ทำให้จำหน่ายไม่ได้ หรืออาจมีมากเกินไปจนเกิดการเน่าเสีย ทำให้ต้องทิ้งผลผลิตไป จึงเห็นว่าน่าจะนำกล้วยเหล่านี้มาทำให้เกิดประโยชน์ กล้วยมีคุณค่าทางอาหารสูง ช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย ช่วยเพิ่มกากอาหารในลำไส้ ทำให้ระบบ

ขับถ่ายดี ช่วยกระตุ้นการทำงานของลำไส้ได้ดี และช่วยในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ซึ่งในกล้วยสุกมีพลังงานสูง ทำให้สัตว์ได้รับพลังงานในเวลารวดเร็ว ทำให้สัตว์มีความแข็งแรงเร็วขึ้น (สุนทร, 2553)

กล้วยมีคุณค่าทางอาหารสูง ให้พลังงานประมาณ 10 แคลอรี่ต่อกล้วย 100 กรัม เป็นอาหารเสริมที่ดี นอกเหนือจากอาหารเม็ดที่ให้อยู่เป็นประจำ สารอาหารจากกล้วยจัดเป็นสารอาหารทางด่วนที่สามารถแปลงไปเป็นพลังงานได้เร็วทำให้กุ้งที่กินกล้วยเป็นประจำ จะมีความแข็งแรง โดยเฉพาะภายหลังจากหายป่วย กุ้งจะฟื้นตัวเร็ว เพราะ ปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่มากในกล้วย จะช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย หากพบว่ากุ้งไม่ปรกติ โดยเฉพาะหลังลอกคราบ ลองให้กล้วยเป็นตัวช่วยในการสร้างความสดชื่นอีกทางหนึ่ง ส่วนในกล้วยที่สุกเหลืองทั่วทั้งผลจะมีสารแพคติน (pectin) มาก จะช่วยเพิ่มกากอาหารในลำไส้ ทำให้ระบบการขับถ่ายของกุ้งดี ขี้จะยาว การกินอาหารโดยรวมจะดีขึ้น ซึ่งสารแพคติน ช่วยกระตุ้นการทำงานของลำไส้ได้ดี ในกุ้งที่มีความผิดปกติของระบบทางเดินอาหารให้ใช้กล้วยหมักกับจุลินทรีย์ประเภทแลคโตบาซิลลัสหรือพวกกลุ่มช่วยย่อยอาหารจะช่วยให้ระบบทางเดินอาหารดีขึ้นภายในเวลาอันสั้น กล้วยที่ย่อยสลายแล้วจากกระบวนการหมักจุลินทรีย์บางชนิดหรือผ่านการย่อยในระบบทางเดินอาหารจะมีลักษณะลื่นเหลว ช่วยเคลือบผนังลำไส้และป้องกันมิให้เกิดการอักเสบในลำไส้ได้ ซึ่งการใช้กล้วยเคลือบอาหารก่อนคลุกให้กุ้งกินจะช่วยชะลอการสลายตัวของเม็ดอาหารได้อีกด้วย แต่ยังเป็นรองการเคลือบด้วยไคโตซาน และในกล้วยยังมีวิตามินซีอยู่ในเกณฑ์ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพกุ้ง (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 2548)

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาผลของโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอ โดยนำวัตถุดิบในการทำอาหารคือ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว ผสมกับกล้วย แบ่งเป็น 3 สูตรดังนี้ อาหารผสมกล้วยไข่ อาหารผสมกล้วยน้ำว้า และอาหารผสมกล้วยหอม เพื่อใช้เป็นอาหารให้ปลาหมอไทย โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันและ ประสิทธิภาพการย่อยอาหารในปลาหมอไทย

จุดประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย
2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย
3. เพื่อศึกษาผลของสูตรอาหารต่อการแสดงออกของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลการย่อยวัตถุดิบใช้เป็นส่วนผสมของอาหารจากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย
2. ทราบถึงผลคุณค่าทางโภชนาการที่ต่างกันในกล้วยแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย
3. ทราบถึงผลของสูตรอาหารต่อการแสดงออกของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาหมอไทย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 2
ตรวจสอบเอกสาร

ปลาหมอไทย

ปลาหมอไทย (Climbing perch) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Anabas testudineus* เป็นปลาที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทย พบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยธรรมชาติปลาหมออาศัยอยู่ในแม่น้ำ หนอง บึงและแหล่งน้ำทั่วไป อีกทั้งเป็นปลาที่มีความทนทาน อดทนสูง ปลาหมอไทยสามารถปรับตัวเจริญเติบโตเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำกร่อย ที่มีความเค็มได้ถึง 7-10 ppm. และน้ำที่ค่อนข้างเป็นกรดจัด เช่น ป่าพรุ เพราะมีอวัยวะพิเศษช่วยหายใจ (labyrinth organ) จึงอาศัยอยู่ในที่มีน้ำน้อย ๆ หรือที่ชุ่มชื้นได้เป็นระยะเวลานาน สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำกร่อยหรือน้ำที่มีสภาพค่อนข้างเป็นกรดได้เป็นอย่างดี เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีความยาวประมาณ 15-25 เซนติเมตร (Smith, 1945; Suvatti, 1950) และมีลำดับอนุกรมวิธานดังนี้

Phylum: Chordata
Class: Pisces
Subclass: Teleostomi
Order: Larbyrinthici
Family: Anabantidae
Genus: Anabas
Species: *testudineus* (Bloch)

ภาพที่ 1 ปลาหมอไทย

ลักษณะรูปร่าง

ปลาหมอไทยมีลำตัวป้อมค่อนข้างแบน ความยาวประมาณ 3 เท่าของความลึก ลำตัวมีสีน้ำตาลเหลืองปนดำ ส่วนท้องสีจางกว่าส่วนหลัง เกล็ดแข็งแบบ ctenoid ครีบหลังมีก้านครีบแข็ง 17-18 ก้าน และก้านครีบอ่อน 9-10 ก้าน ครีบก้นมีก้านครีบแข็ง 9-10 ก้าน และก้านครีบอ่อน 10-11 ก้าน ครีบท้องมีก้านครีบแข็ง 2 ก้าน และก้านครีบอ่อน 5 ก้าน ครีบอกมีก้านครีบอ่อนทั้งหมด 15 ก้าน กระดูกสันหลังมี 26-28 ข้อ ตำแหน่งตั้งต้นของครีบหลัง ครีบอก ครีบท้องอยู่ในแนวเดียวกัน เส้นข้างตัวแบ่งขาดเป็น 2 ตอน จำนวนเกล็ดบนเส้นข้างตัวตอนบน 14-18 เกล็ด ตอนล่าง10-14 เกล็ด ปลายกระดูกกระพุ้งแก้มมีลักษณะเป็นหนามหยัก แหลมคมมากและส่วนล่างของกระพุ้งแก้มแบ่งแยกอิสระ เป็นกระดูกแข็งสำหรับปีนป่าย เรียกว่า ichy feet กระดูกกระพุ้งแก้มงอพับได้ หางเป็นแบบมนกลมเล็กน้อย ตามลำตัวมีแถบสีดำ 7-8 แถบ และที่โคนหางมีจุดสีดำกลม ซึ่งซีดจางหายไปได้เมื่อเวลาตกใจ ปากอยู่ตอนปลายสุดของหัวและเฉียงขึ้นเล็กน้อย ริมฝีปากยืดหดไม่ได้ มีฟันแหลมคม เหนือริมฝีปากบนก่อนถึงตาทั้งสองข้าง เป็นหนามแหลมคม บริเวณหนามแหลมของปลายกระดูกกระพุ้งแก้มจะมีลักษณะคล้ายเนื้อเยื่อสีดำติด อยู่ทั้งสองข้าง ปลาหมอไทยมีอวัยวะช่วยหายใจ (labyrinth organ) อยู่ในช่องเหงือกใต้ลูกตา จึงทำให้สามารถอยู่บนบกได้นาน ๆ (สมโภชน์, 2545) นักวิทยาศาสตร์บางท่านให้ข้อสังเกตว่าปลาหมอ ปลาตีนและปลามีปอด (lung fish) อาจเป็นรอยต่อหรือสะพานทางพันธุกรรมของการวิวัฒนาการจากปลาซึ่งเป็นสัตว์น้ำสู่สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ

อาหารและนิสัยการกินอาหาร

สุจินต์ (2550) รายงานว่า ปลาหมอไทยเป็นผู้ล่าสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กเป็นอาหาร เช่น ปลวก ตัวอ่อนแมลงน้ำ ตั๊กแตน ลูกยุง หนอนแดง กุ้งฝอย และลูกปลาขนาดเล็ก นอกนั้นยังสามารถกินเมล็ดข้าว และเมล็ดธัญพืชอื่น ๆ สำหรับลูกปลาหมอไทยหลังฟักออกจากไข่เป็นตัวในระยะ 3 วันแรก จะใช้อาหารในถุงไข่แดง (yolk sac) เป็นอาหาร เมื่อถุงไข่แดงยุบจะเริ่มกินอาหารพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น โรติเฟอร์ ไรแดง และลูกน้ำ กินเป็นอาหารจนกว่าฟันจะพัฒนาสมบูรณ์จึงสามารถกินตัวอ่อนแมลง สัตว์หน้าดิน ลูกกุ้ง และลูกปลาวัยอ่อน ตลอดจนฝึกให้กินอาหารสำเร็จรูปเป็นอาหาร

ความแตกต่างระหว่างเพศและอัตราส่วนเพศ

ปลาหมอไทยเพศเมียจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าเพศผู้อย่างชัดเจน เมื่อมีขนาดความยาวเท่ากันปลาตัวผู้จะมีลำตัวยาวเรียว ตัวเมียมีความลึกของลำตัวมากกว่าตัวผู้ ในฤดูวางไข่ปลาเพศเมียจะมีส่วนท้องอูมเป่ง และโคนหาง (caudal peduncle) ของปลาเพศเมียจะหนากว่าเพศผู้ รังไข่และถุงน้ำเชื้อ มีลักษณะยาวและเป็นคู่ โดยรังไข่ที่เริ่มพัฒนาจะมีลักษณะเป็นสีชมพูแก่และ

มีเม็ดไข่เป็นจุดสีขาวนวล เกิดขึ้นเล็กน้อย ต่อมาก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น รังไข่ที่แก่จะมีไข่สีเหลืองและแยกออกเป็นสองพูอยู่เต็มบริเวณช่องท้อง รังไข่ที่แก่จัดจะเห็นเส้นโลหิตฝอย (ovarian arteries) ถุงน้ำเชื้อในระยะแรกจะมีสีชมพูใส เมื่อพัฒนาสมบูรณ์ มีลักษณะสีขาวขุ่น แยกเป็น 2 สาย ซึ่งยึดติดกับบริเวณเนื้อเยื่อในช่องท้อง ในธรรมชาติพบอัตราส่วนเพศ ระหว่างเพศเมียต่อเพศผู้ เท่ากับ 1 : 1 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปลาเพศผู้มักมีความสมบูรณ์เพศต่ำและน้ำเชื้อมักมีน้อย ในการเพาะพันธุ์นักวิชาการประมงมักใช้สัดส่วนปลาเพศเมียต่อเพศผู้ ประมาณ 1 : 2

การเพาะเลี้ยงปลาหมอไทย

ปลาหมอไทยวางไข่ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป ที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25-29 องศาเซลเซียส โดยปลาหมอไทยเพศเมียจะวางไข่กลางลำน้ำ และปลาหมอไทยเพศผู้จะไล่ตามเพื่อปล่อยน้ำเชื้อเข้าผสมโดยใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง การสืบพันธุ์วางไข่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน ลักษณะไข่ของปลาหมอไทยเป็นไข่ลอยใสไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อนโปร่งแสง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8-1.0 มิลลิเมตร และฟักออกเป็นตัวภายใน 18-20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25-28 องศาเซลเซียส ความดกไข่ขึ้นอยู่กับขนาดของเพศเมีย และสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ (กำธร, 2514)

การเลี้ยงปลาหมอเชิงพาณิชย์ จะปล่อยลูกปลาอัตราประมาณ 40,000 ตัวต่อไร่ ควรอนุบาลลูกปลาในคอกที่ทำด้วยมุ้งเขียวก่อนแล้ว ย้ายลงเลี้ยงในบ่อดิน ให้อาหารอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งติดตั้งระบบการเพิ่มออกซิเจน การให้อาหารลูกปลาอย่างทั่วถึงในช่วงอนุบาลนั้น จะมีผลช่วยลดการแตกไซต์ของปลาได้ ดังนั้นอาจมีการผสมอาหารและปั้นใส่ยอไว้ เพื่อให้ลูกปลามาตอดกินอาหารทั่วถึงทั้งบ่อ ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาการแตกไซต์พร้อมกับการหว่านอาหาร (ไชย, 2547; ศราวุธ และคณะ, 2547; สมเจตน์, 2549)

แนวโน้มการเลี้ยงปลาหมอไทยในอนาคต

ปลาหมอไทยในปัจจุบัน แม้ว่าเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ค่อนข้างสูงมาก ทำให้แนวโน้มศักยภาพการผลิตมีลู่ทางที่ดี แต่มีประเด็นข้อถกเถียงกันทั้งในระดับเกษตรกรและนักวิชาการประมงที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ประชากรปลาหมอไทย ในประเทศไทยได้สันนิษฐานว่าจะมีเพียง 1 ชนิด คือ *Anabas testudineus* (bloch) หรือมีสายพันธุ์ที่แตกต่างกันไป เนื่องจากอิทธิพลเชิงภูมิศาสตร์ ทั้งลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ สภาพชลธีวิทยาของแหล่งน้ำ และอิทธิพลของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อลักษณะปรากฏ (phenotype) เช่น การเจริญเติบโต การต้านทานโรค คุณภาพและปริมาณเนื้อปลา

2. ในอดีตปลาหมอไทย มีผลผลิตสูงรองลงมาจากปลาช่อน ปลาดุกและปลาสวาย แต่ปัจจุบันผลผลิตลดน้อยลงและขนาดเล็กลงมาก ซึ่งเคยมีรายงานว่าความยาวสูงสุดถึง 23 เซนติเมตร การสำรวจเบื้องต้นพบว่าสาเหตุหนึ่งเกิดจากแหล่งเพาะพันธุ์ปลาที่มีปริมาณและคุณภาพอย่างจำกัด โดยพบว่าผู้ผลิตพันธุ์ปลา มักใช้ปลาขนาดเล็กเป็นพ่อแม่พันธุ์ (ขนาด 8-12 เซนติเมตร หรือน้ำหนัก 50-80 กรัม) เพราะราคาถูก ส่วนใหญ่มักรวบรวมปลาจากธรรมชาติมาเพาะโดยตรง ผู้เลี้ยงปลาเนื้อมักประสบปัญหาเลี้ยงปลาไม่โต ปลาอ่อนแอเป็นโรคง่าย โตช้า ใช้เวลานานและสัดส่วนปลาขนาดเล็กเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนการผลิตสูง เสี่ยงต่อการขาดทุน

3. ผลการตรวจสอบเอกสารวิจัยด้านองค์ความรู้ของปลาหมอไทย พบว่าเริ่มมีการศึกษาวิจัยมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2512 งานวิจัยเกือบทั้งหมด กระจัดกระจายไม่ต่อเนื่องกัน เน้นด้านเทคนิคการเพาะพันธุ์ การอนุบาล และรูปแบบการเลี้ยงปลาหมอไทยในระดับสถานีทดลอง โดยที่เกษตรกรไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพได้

4. ปริมาณความต้องการของตลาดมีมาก โดยเฉพาะตลาดต่างประเทศ ขณะที่ผลผลิตไม่เพียงพอหรือไม่แน่นอนที่จะตอบสนองทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ผลสำรวจด้านการตลาดเบื้องต้น พบว่าการตลาดระหว่างผู้เลี้ยง พ่อค้าส่ง พ่อค้าขายปลีก และผู้บริโภคมีส่วนต่างสูงมาก ขณะที่ระดับราคาจำหน่ายปลา ณ ปากบ่อ ค่อนข้างคงที่ แต่ราคาขายปลีกสู่ผู้บริโภคเคลื่อนไหวมาก ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงมีความเสี่ยงสูง ทั้งด้านต้นทุน ปริมาณ และคุณภาพการผลิต

5. การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาหมอไทย ทดแทนการจำหน่ายปลาสดแบบมีชีวิต เช่น ปลา clean (ปลาทั้งตัวขอดเกล็ด ผ่าท้อง เอาเหงือกและไส้ออก) แช่แข็งพร้อมปรุงอาหาร หรือปลาชิ้นเคลือบเกล็ดน้ำแข็ง (glazing) และเพิ่มช่องทางกระจายผลิตภัณฑ์ โดยวางจำหน่ายในซุปเปอร์มาร์เก็ต หรือร้านสะดวกซื้อ พร้อมพัฒนาการบรรจุหีบห่อ โฆษณาประชาสัมพันธ์สู่ผู้บริโภคให้กว้างขวางมากขึ้น (แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง, 2557)

ความสำคัญและชนิดของอาหารสัตว์น้ำ

อาหารสัตว์น้ำนับเป็นปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิตสัตว์น้ำและต้นทุนการผลิต เนื่องจากต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ จากค่าอาหาร การเลี้ยงจะประสบความสำเร็จมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพปริมาณวิธีการให้และราคาอาหารเป็นสำคัญ นอกจากอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโต การยังชีพ การเจริญพันธุ์และการแพร่พันธุ์ของสัตว์น้ำยังมีผลต่อคุณภาพน้ำเช่นกันกล่าว คือ หากให้อาหารที่พอเหมาะคุณภาพดีก็จะช่วยรักษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงได้ หากให้มากเกินไปหรือคุณภาพไม่ดี นอกจากเพิ่มค่าใช้จ่ายแล้วโอกาสเกิดน้ำเสียและการเกิดโรคจะเพิ่มสูงขึ้น ในธรรมชาติสัตว์น้ำสามารถที่จะหาอาหารได้เองตามแหล่งน้ำ แต่

หากจับมาเลี้ยงในที่จำกัดการจัดการเรื่องอาหาร คุณสมบัติของอาหาร การให้อาหารจึงมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น (แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง, 2014)

แหล่งของอาหารสัตว์น้ำที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 2 แหล่ง ได้แก่

1. อาหารธรรมชาติ (natural food) หมายถึง อาหารที่เกิดขึ้นในบ่อตามธรรมชาติ ปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ความสมบูรณ์ของบ่อและคุณภาพน้ำ ชนิดของอาหาร ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ พวกชีวอินทรีย์ตัวแมลงที่อยู่ตามพืชน้ำ สัตว์น้ำก้นบ่อ (benthos) พืชน้ำ (aquatic plants) พวกขึ้นในบ่อสภาพติดดิน หรือพวกลอยน้ำ (แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง, 2014)

2. รูปแบบของอาหารผสม

2.1 แบบเปียก เป็นแบบอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาทั่วไปในประเทศเราอย่างเช่น อาหารที่เหลือจากครัวเรือนหรือภัตตาคาร โดยนำมาต้มรวมกับผักหรือพันธุ์ไม้น้ำชนิดต่าง ๆ หรือใช้ปลาเบญจพรรณหรือที่เรียกว่าปลาเป็ด บดรวมกับปลายข้าวต้มและรำ แล้วนำไปเลี้ยงหรือใช้มูลสัตว์ได้แก่ ไก่ เป็ดและหมู ให้โดยตรงหรือเป็นปุ๋ย

2.2 แบบแห้ง เป็นแบบอาหารที่ใช้เลี้ยงที่สะดวกมากวิธีหนึ่ง อาหารแบบนี้สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานานและสะดวกแก่การให้และขนส่งไปยังที่ไกล ๆ แบ่งได้ดังนี้

1) แบบผง อาหารแบบนี้ใช้วัสดุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีลักษณะแห้งและเป็นผงละเอียด มาผสมรวมกันและโรยให้ปลากิน เหมาะกับลูกสัตว์น้ำขนาดเล็กหรือวัยอ่อน

2) แบบเม็ดจม อาหารแบบนี้ใช้วัสดุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็นผงและแห้งมาผสมกับน้ำแล้วผ่านเครื่องอัดเม็ดออกมาเป็นแท่ง ยาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวที่ต้องการ เมื่อออกเครื่องใหม่จะเปียกหมด เมื่อถูกลมและแดดจะแห้งและจับตัวแน่นเป็นแท่งยาว สารถอยู่ในน้ำได้นานและเก็บรักษาได้นาน

3) แบบเม็ดลอย ส่วนผสมของอาหารก็เช่นเดียวกับอย่างของชนิดเม็ดจมและอาหารต้องผ่านเครื่องอัดเม็ด แต่มีกรรมวิธีการผลิตที่สลับซับซ้อนกว่า คือก่อนการอัดเม็ดต้องทำให้ส่วนผสมของอาหารลอยจนวัสดุอาหารขยายตัวแล้วจึงอัดอากาศเข้า อาหารที่ออกจากเครื่องอัดจะมีอากาศอยู่ข้างในจึงมีคุณสมบัติลอยน้ำได้ ผู้เลี้ยงสามารถทราบได้ว่าปลากินอาหารหมดหรือไม่จัดว่าเป็นอาหารที่ประหยัดชนิดหนึ่ง (แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง, 2014)

การที่จะทำอาหารให้มีความคงทนในน้ำ เมื่อให้สัตว์น้ำมีโอกาสได้กินอาหารมากขึ้นและให้เหลือในบ่อน้อยที่สุด วัสดุที่นำมาประกอบเป็นอาหารควรมีขนาดเล็ก มีเยื่อใย (fiber) และไขมันน้อย และควรมีแป้งสุกในปริมาณพอสมควร เพื่อให้ยึดวัสดุอื่นให้จับตัวกันแน่นและควรอัดหรือบีบวัสดุที่นำมาประกอบอาหารให้เป็นรูปแผ่น ก้อน หรือเม็ด การทำเช่นนี้จะทำให้อาหารอยู่คงได้นานในระยะเวลาหนึ่งและทำให้อาหารอยู่ในน้ำเป็นระยะเวลานาน ควรผสมพวกสารเหนียว (binder) ลงไป

ด้วย พวกสารเหนียวที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยึดเกาะ ซึ่งจะทำให้วัสดุต่าง ๆ ยึดเกาะและเกาะตัวกัน แน่นโอกาสที่น้ำจะซึมไปแยกให้วัสดุอาหารหลุดจากกันจะช้าลงทำให้อาหารคงรูปเดิมอยู่ได้นาน (แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง, 2014)

ความสำคัญของโภชนาการอาหารอื่น ๆ

อาหารสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อให้ได้ผลผลิตของสัตว์น้ำที่สูงขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะประสบผลสำเร็จเพียงใดนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพ ปริมาณ และราคาของอาหารเป็นสำคัญ ถ้าได้แหล่งอาหารสัตว์น้ำที่มีคุณภาพดี มีปริมาณเพียงต่อความต้องการ และมีราคาของอาหารสัตว์น้ำไม่สูงมากมาใช้ในกระบวนการผลิต ก็จะทำให้ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำประสบผลสำเร็จตรงกันข้ามหากกระบวนการผลิตสัตว์น้ำนั้นมีแหล่งอาหารที่มีคุณภาพต่ำ ปริมาณของอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ และมีราคาแพง ก็จะส่งผลให้กระบวนการผลิตสัตว์น้ำไม่ประสบผลสำเร็จ (นิวุฒิ, 2549)

วัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหารสัตว์ หมายถึง สารใด ๆ ก็ตามที่ให้คุณค่าทางโภชนาหรือสารอาหารที่ทำให้เกิดประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ซึ่งได้มาจากพืช สัตว์ หรือจากการสังเคราะห์ ตามปกติวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมีสารอาหารเป็นองค์ประกอบหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้นด้วยขบวนการใด ๆ ซึ่งสามารถจำแนกส่วนประกอบสารอาหารได้ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี วัตถุดิบเหล่านี้มีมากมายหลายชนิดนำมาใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน การนำเอาวัตถุดิบอาหารเหล่านี้ไปเลี้ยงสัตว์อย่างเดียวหรือผสมรวมให้สัตว์กินควรมีความเข้าใจคุณลักษณะและส่วนประกอบของสารอาหารเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม (ธาตรี, 2549)

ปลาป่น (fish meal)

ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับการเลี้ยงสัตว์ ผลิตจากปลาต่าง ๆ ที่ชาวประมงลากอวนติดมา นำมาบดป่นและสกัดน้ำมันออกแล้วทำให้แห้ง อาจมีทั้งเปลือกปู กุ้ง กั้ง หอย ปนมาด้วย โดยเฉลี่ยแล้วปลาป่นจะมีโปรตีนประมาณ 50–65 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5–8 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 8–10 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุประมาณ 20–24 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งของวิตามิน มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสมากประมาณร้อยละ 5–8 เปอร์เซ็นต์ และ 3–3.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คุณภาพของปลาป่นขึ้นกับชนิดของปลา วัตถุปะปน ความสดของปลา ตลอดจนกรรมวิธีในการผลิตปลาป่น เช่น ถ้าให้

ความร้อนสูง ปริมาณของกรดอะมิโนจะลดต่ำลงไปเรื่อย ๆ นอกจากนี้ ความชื้นและไขมันทำให้เก็บรักษาปลาป่นไว้ไม่ได้นาน เพราะอาจทำให้เกิดเชื้อราและเหม็นหืนได้ง่าย ปลาป่นมีโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นที่สัตว์ต้องการค่อนข้างสูง มีวิตามินและแร่ธาตุมากมายและยังมีสารที่จำแนกไม่ได้ว่าเป็นชนิดใด แต่มีส่วนช่วยเสริมให้สัตว์เจริญเติบโต อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ไม่ควรเกิน 10–15 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร

กากถั่วเหลือง (soybean meal)

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่ดีที่สุด ได้จากการนำถั่วเหลืองไปสกัดน้ำมันออก มีหลายวิธี เช่น วิธีอัดแน่น (hydraulic process) วิธีอัดเกลียว (screw process) และวิธีสกัดด้วยสารเคมี (solvent process) ซึ่งจะมีคุณภาพแตกต่างกัน โดยจะมีโปรตีนประมาณ 43, 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถั่วเหลืองดิบมีตัวยับยั้งทริปซิน (trypsin inhibitor) ซึ่งจะขัดขวางการย่อยโปรตีนของน้ำย่อยทริพซิน และยังมีสารเฮเมกลูทินิน (hemagglutinin) ซาโพนิน (saponin) และไอโซฟลาโวน (isoflavone) กากถั่วเหลืองที่นำน้ำมันออกได้มากและมีการกะเทาะเปลือกจะมีคุณค่าสูงและมีความน่ากินมากกว่า การย่อยได้ของกรดอะมิโนสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นกรดอะมิโนเมไทโอนีนที่ย่อยได้ค่อนข้างต่ำ (70 เปอร์เซ็นต์) ความร้อนทำให้ถั่วเหลืองสุกและทำลายตัวยับยั้งทริพซินมีโอกาสทำลายกรดอะมิโนในอาร์จินีน ทริปโตเฟน ฮิสติดีน และซีรีน (Aherne and Kennelly, 1983) กากถั่วเหลืองในประเทศส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่กะเทาะเปลือก ส่วนพวกที่นำเข้าจากจีนหรือบราซิลมีทั้งชนิดกะเทาะและไม่กะเทาะเปลือก ปริมาณการใช้สูตรอาหารควรอยู่ระหว่าง 20–25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสุกร และในอาหารสัตว์ปีกไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันในถั่วเหลืองมีคุณสมบัติเป็นยาระบายเล็กน้อยและอาจมีผลทำให้ไขมันในร่างกายสัตว์มีลักษณะเหลว แต่ความเป็นจริงในกากถั่วเหลืองมีน้ำมันน้อยเกินกว่าจะก่อให้มีผลเสียนี้แต่ให้คำนึงถึงเมื่อมีกรณีใช้ถั่วเหลืองเมล็ดเป็นอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารสุกร ในปัจจุบันมีการผลิตถั่วเหลือง ไขมันเต็ม (full fat soybean) จากวิธีการนึ่ง หรือต้มแล้วนำมาบด หรือการใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์กับถั่วทั้งเมล็ดแล้วนำมาเลี้ยงสัตว์

รำข้าว (rice bran)

รำข้าวแยกออกเป็น 2 ชนิด คือรำหยาบและรำละเอียด รำหยาบมีส่วนผสมของแกลบปนทำให้คุณค่าต่ำกว่ารำละเอียดเพราะมีเยื่อใยสูงและมีแร่ซิลิกาปนในแกลบมาก รำเป็นส่วนผสมของเพอริคาร์บ (pericarp) อะลิวโรนเลเยอร์ (aleuron layer) เยอร์ม (germ) และบางส่วนของเอนโดสเปอร์ม (endosperm) ของเมล็ด รำหยาบมีโปรตีนประมาณ 8–10 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 7–8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรำละเอียดมีโปรตีนประมาณ 12–15 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12–13

เปอร์เซ็นต์ รำมีไขมันสูงจึงไม่ควรเก็บรำไว้นานเกิน 15–20 วัน เพราะจะมีกลิ่นจากการหืน รำข้าวที่ได้จากการสีข้าวเก่ามีความชื้นต่ำทำให้เก็บได้นานกว่ารำข้าวใหม่ที่มีความชื้นสูง เชื้อราขึ้นง่ายและเหม็นหืนเร็ว ส่วนรำข้าวนาปรัง อาจมีสารตกค้างของยาฆ่าแมลงปะปนมาด้วย รำข้าวเป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตที่มีกรดอะมิโนค่อนข้างสมดุล มีคุณค่าทางอาหารสูง มีวิตามินบีค่อนข้างมาก รำที่สกัดน้ำมันออกโดยกรรมวิธีต่าง ๆ เช่น รำอัดน้ำมัน (hydraulic press) หรือรำสกัดน้ำมัน (solvent extract) จะเก็บได้นานกว่า และมีปริมาณของโปรตีนสูงกว่ารำข้าวธรรมดา เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก แต่ปริมาณไขมันต่ำกว่า คุณภาพของรำสกัดน้ำมันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีเพราะถ้าร้อนเกินไปทำให้คุณค่าทางอาหารเสื่อม โดยเพราะกรดอะมิโนและวิตามินบีต่าง ๆ ปัญหาในการใช้ พบว่ามักมีหินฝุ่นหรือดินขาวปนมา ทำให้คุณค่าทางอาหารต่ำลง หรืออาจมียากำจัดแมลง สารเคมี หรือมีแกลบปะปน (อุทัย, 2529)

ปลายข้าว (broken rice)

ปลายข้าวเป็นผลิตผลพลอยได้จากการสีข้าว เกิดจากการขัดข้าวกล้อง หรือข้าวแดง ที่นำไปกะเทาะเปลือกออกให้เป็นข้าวขาว ปลายข้าวประกอบด้วยละอองข้าวหรือเยื่อหุ้มเมล็ด เศษชิ้นของเมล็ดข้าวที่หักและจมูกข้าว (embryo) ปลายข้าวมีโปรตีนประมาณ 9–10 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันและเยื่อใยต่ำ โดยมีประมาณร้อยละ 0.9 และ 1.0 ตามลำดับ ปลายข้าวมีสองขนาดคือ ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และได้จากข้าวจ้าวหรือข้าวเหนียวและปลายข้าวนึ่ง มีพลังงานทัดเทียมกับข้าวโพดและข้าวฟ่าง จึงสามารถใช้ทดแทนกับข้าวโพดได้ทั้งหมด เป็นวัตถุดิบที่สะดวกต่อการนำไปเลี้ยงสัตว์ไม่ต้องเสียเวลาบด การใช้ปลายข้าวเหนียวถ้าใช้ปริมาณมากจะทำให้สัตว์ท้องผูกหรือมูลเหนียว การใช้จึงควรใช้ร่วมกับอาหารที่มีเยื่อใยสูง เช่น รำละเอียด ส่วนปลายข้าวนึ่ง สัตว์สามารถย่อยได้ง่ายกว่าปลายข้าวชนิดอื่นเนื่องจากแป้งผ่านการนึ่งสุกแล้ว การปลอมปนพบว่ามีการปนเมล็ดหญ้า

กล้วย

กล้วยเป็นไม้ล้มลุกขนาดใหญ่จัดอยู่ใน Family Musaceae ใน Order Scitamineae หรือ Zingiberales สำหรับ Musaceae เป็นกล้วยที่ได้รับความนิยมปลูกกันมากกว่า family อื่น ๆ เป็น family ที่ใหญ่ที่สุด มีอยู่ 2 genus คือ Ensete และ Musa กล้วยในสกุล Ensete มีลักษณะที่สำคัญ คือ ลำต้นไม่มีการแตกหน่อ ผลรับประทานไม่ได้ ส่วนกล้วยในสกุล Musa แบ่งออกเป็น 5 sections คือ Australimusa, Callimusa, Ingentimusa, Rhodochlamys และ Eumusa กล้วยที่บริโภคกันจัดอยู่ใน section Eumusa ซึ่งกำเนิดมาจากกล้วยป่า 2 species คือ *M. acuminate Colla* และ *M. balbisiana Colla* เมื่อจัดแบ่งกลุ่มของกล้วยใน Eumusa series โดยใช้จำนวนชุดของโครโมโซม

และยีโนมสำคัญ แบ่งออกเป็น AA, AAA, AB, AAB, ABB, ABBB, BB และ BBB กล้วยชอบอากาศร้อนชื้นและอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15-35 องศาเซลเซียส ชอบดินที่สมบูรณ์ระบายน้ำและหมุนเวียนอากาศดี มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4.5-7 แต่ที่ชอบที่สุดที่ระดับ 6 พบกล้วยได้ทั่วไปในพื้นที่แถบเอเชีย เจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสม่ำเสมอในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนยาวนาน แต่มีการชลประทานที่ดี ระยะเวลาการปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลใช้เวลาประมาณ 1 ปี ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงแทงปลีใช้ระยะเวลา 250-260 วัน แทงปลีถึงระยะเก็บเกี่ยว 110-120 วัน (Simmonds, 1966)

1. การเจริญของผลกล้วย

ผลกล้วยเจริญเติบโตมาจากรังไข่ของดอกตัวเมีย ซึ่งการเจริญของผลมีทั้งแบบผสมพันธุ์และไม่ต้องผสมพันธุ์ แบบผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกด้วยเมล็ด ซึ่งดอกตัวเมียจำเป็นที่จะต้องผสมพันธุ์ก่อนที่จะพัฒนาเป็นผลกล้วย ส่วนแบบไม่ต้องผสมพันธุ์จะเป็นกล้วยที่ปลูกโดยการแตกหน่อผลกล้วยทั้งหมดเกิดจากช่อดอกเรียกว่า เครือ (bunch) ส่วนผลกล้วยจากกลุ่มดอกแต่ละกลุ่มบนช่อดอกเรียกว่า หวี (hand) ส่วนปลาย ผลที่มีจุกสีดำ คือ ดอกตัวเมียที่หลุดล่วงไป เนื้อกล้วยคือเนื้อเยื่อชั้นนอกระหว่างเกสรตัวเมียกับรังไข่ จุดเล็ก ๆ สีน้ำตาลที่ไส้กล้วยคือ เกสรตัวเมียที่เป็นหมันไม่สามารถผสมพันธุ์ได้

2. โครงสร้างของเนื้อเยื่อผลกล้วย

ผลกล้วยประกอบด้วยเนื้อเยื่อและของเหลวเป็นที่รวมของสารให้กลิ่นและรสชาติ กล้วยเป็นผลไม้เนื้อนิ่ม ผลแก่เนื้อจะแข็ง ปริมาณของเหลวต่ำ สารให้กลิ่นรสมีน้อย เมื่อแก่สุกงอมส่วนของเนื้อเยื่อชั้นกลางเรียก mesocarp มีลักษณะฉ่ำน้ำ ซึ่งเป็นส่วนของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในรูปต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล และใยอาหาร ซึ่งส่วนของใยอาหารนี้ได้แก่ เพคตินและเซลลูโลสเป็นหลัก มีผลต่อการสกัดแยกส่วนของของเหลวจากเนื้อเยื่อ (Urlaub and Florida., 2002)

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้คือเนื้อเยื่อของผล ซึ่งประกอบไปด้วย parenchyma cell ซึ่งมีโครงสร้างหลักอยู่ 2 ส่วนคือผนังเซลล์ (cell wall) และโพรโทพลาสซึม (protoplasm) ผนังเซลล์ ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ได้แก่ มิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) และเยื่อหุ้มเซลล์ มิดเดิลลาเมลลาเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์ที่อยู่ติดกัน โดยเป็นแนวเชื่อมหรือเยื่อกั้นระหว่างเซลล์ ประกอบไปด้วยสารประกอบเพคตินหลายชนิด ผนังเซลล์ปฐมภูมิประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน ส่วนในผนังเซลล์ทุติยภูมิประกอบไปด้วยเซลลูโลสรวมอยู่กับเฮมิเซลลูโลส โพรโทพลาสซึมเป็นส่วนที่ถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ ประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิด เช่น แป้ง โปรตีน ลิปิด น้ำ รงควัตถุ กรดอินทรีย์ น้ำตาล โปรโตพลาสซึมประกอบด้วย

ส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือไซโทพลาสซึมและนิวเคลียส องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตหลักที่รวมเป็นโครงสร้างของผลกล้วย คือ

2.1 เพคติน (pectin)

เพคตินเป็นสารประกอบแขวนลอยโพลีแซคคาไรด์ (colloid polysaccharide) พบมากในบริเวณมิดเดิลลาเมลลาและมักรวมอยู่กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่บริเวณผนังเซลล์ปฐมภูมิ ในผลดิบสารประกอบเพคตินจะอยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อผลเริ่มสุก protopectin จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเพคตินที่มีคุณสมบัติละลายน้ำ โดยมีเอนไซม์ protopectinase เป็นตัวเร่ง จึงทำให้ผลไม้มีเนื้ออ่อนนุ่มลง โครงสร้างทางเคมีของเพคตินเป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่เป็นสายหลักเรียกว่า smooth region ประมาณร้อยละ 60 - 90 และโครงสร้างที่เป็นแขนงเรียกว่า hairy region ประมาณร้อยละ 10 - 40 โครงสร้างที่เป็นสายหลักประกอบด้วยโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 glycosidic linkage อย่างน้อย 32 โมเลกุลและการแทรกของโมเลกุลน้ำตาลโดยน้ำตาลที่แทรกส่วนใหญ่ เป็น น้ำตาลแรมโนส โครงสร้างที่เป็นแขนงเป็นการแทรกของ araban, rhamnogalactan, arabinogalactans และมีโปรตีนเกาะอยู่ที่โมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกหรือน้ำตาลแรมโนส สารประกอบเพคตินมีความสำคัญในการแปรรูปน้ำผลไม้ โดยจะก่อให้เกิดความข่นในน้ำผลไม้ เนื่องจากมีสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่ดูดน้ำได้ดี เมื่ออยู่ในสารละลายจะเกิดการพองตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้สารและอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำผลไม้เกิดการแขวนลอยไม่สามารถตกตะกอนได้ เกิดเป็นสารละลายที่หนืดและข่นข้น (Urlaub, 2002)

2.2 เซลลูโลสและเฮมิเซลลู โลส (cellulose and hemicellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช โครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบโพลิเมอร์ที่ไม่มีกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสหลาย ๆ หน่วยมาต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ β-1,4-glycosidicbond เซลลูโลสเชื่อมต่ออยู่กับเพคตินและเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ปฐมภูมิด้วย xyloglucans ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นไมโครไฟบริล แต่ละสายของไมโครไฟบริลจะเรียงขนานกันและยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบ polymeric carbohydrate ที่พบรวมอยู่กับสารประกอบเพคตินและเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช โครงสร้างทางเคมีมีลักษณะเป็น heteroglycan ประกอบด้วยโครงสร้างหลักที่เป็น โพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4-β-linkage หรือไซแลน และมีโครงสร้างที่แตกแขนงเป็นน้ำตาล pentose, hexose และ uronicacid อื่น ๆ (Urlaub, 2002)

2.3 แป้ง (starch)

แป้งเป็นสารประกอบ polymeric carbohydrate ที่มีผลต่อการแปรรูปน้ำผลไม้เช่นกัน เนื่องจากในน้ำผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบจะเกิดปฏิกิริยา gelatinization ขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้น้ำผลไม้ขุ่นและเกิดปัญหาในขั้นตอนการกรอง แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น เรียกว่าอะไมโลส และพอลิเมอร์เชิงกิ่งเรียกว่าอะไมโลเพคติน อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage โดยทั่วไปแป้งจะมีอะไมโลส ประมาณร้อยละ 10-30 และมีอะไมโลเพคตินประมาณร้อย ละ70-90 (Urlaub, 2002)

3. องค์ประกอบของผลกล้วย

กล้วยส่วนใหญ่รับประทานได้ทั้งผลดิบและผลสุก ประมาณครึ่งหนึ่งของกล้วยในโลกคือกล้วยกล้ายซึ่งเป็นชนิดที่ต้องทำให้สุกด้วยความร้อนจึงจะมีรสชาติ ปลูกมากในแอฟริกา กล้วยกล้ายมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับกล้วยแต่โพแทสเซียมและพลังงานสูงกว่า กล้วยมีคุณค่าสูง มีไขมันและคลอเรสเตอรอลต่ำ แต่ให้พลังงานสูง มีวิตามินเอ บีหก และวิตามินซี กล้วยสุกมักมีรสหวาน ย่อยง่าย เวลาในการย่อยสั้นเมื่อเทียบกับส้ม นม กะหล่ำปลี หรือแอปเปิ้ล จึงเหมาะกับทารกหรือผู้มีปัญหาเกี่ยวกับลำไส้ ใช้เป็นอาหารลดความอ้วน มีเกลือโซเดียมเพียงเล็กน้อย แต่มีโพแทสเซียมอยู่สูงประมาณ 400 มิลลิกรัมช่วยลดความดันโลหิต คุณค่าอาหารของผลกล้วยสุกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของผลกล้วยสุก 100 กรัม

องค์ประกอบ	น้ำหนัก
น้ำ (กรัม)	75.7
พลังงาน (แคลอรี่)	85
โปรตีน (กรัม)	1.1
ไขมัน (กรัม)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	22.2
เถ้า (กรัม)	0.8
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	8
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	33
วิตามินเอ	190

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของผลกล้วยสุก 100 กรัม (ต่อ)

องค์ประกอบ	น้ำหนัก
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.7
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	370
Thiamine (มิลลิกรัม)	0.05
Riboflavin (มิลลิกรัม)	0.06
Niacin (มิลลิกรัม)	0.7
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	10

ที่มา : Salunke and Desal (1984)

3.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในผลกล้วยดิบอยู่ในรูปของแป้งเป็นส่วนใหญ่ (20-25%) พบน้ำตาลเพียงประมาณร้อยละ 1-2 ในระหว่างการสุกแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลทำให้เหลือแป้งอยู่ในผลกล้วยเพียง ประมาณร้อยละ 1-2 ส่วน และทำให้ส่วนของน้ำตาลเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15-25 (Adão and Glória, 2005) ในระหว่างการสุกนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะลดลงไป เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (respiration) น้ำตาลที่พบมากในกล้วยคือน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ในอัตราส่วนของซูโครสร้อยละ 66 กลูโคสร้อยละ 22 ฟรุกโตสร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลมอลโตสและน้ำตาลแรมโนสอยู่เล็กน้อย (Bugaud et al., 2006) กล้วยดิบมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงประมาณร้อยละ 8-10 และจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1 เมื่อกล้วยสุก ปริมาณเซลลูโลสมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในระหว่างการสุกปริมาณโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงจากร้อยละ 0.5 เหลือร้อยละ 0.3 แต่ปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำ (Kotecha and Desai, 1995)

3.2. โปรตีน

ในระหว่างการสุกของกล้วยพบว่าโปรตีนยังคงมีปริมาณคงที่ที่ระดับร้อยละ 0.5-1.5 โดยน้ำหนักกรดอะมิโนที่สำคัญที่พบในกล้วยสุกได้แก่ Glutamine, Asparagine, Histidine, Arginine และ Leucine (Wade et al., 1972)

3.3. ไขมัน

เนื้อกล้วยสุกมีไขมันต่ำประมาณร้อยละ 0.2 -0.5 ส่วนใหญ่ เป็น Palmitic acid, Oleic acid และ Linolenic acid ในระหว่างการสุกอัตราส่วนของกรดไขมันในเปลือกจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดลงโดยเฉพาะ Palmitic acid (Goldstein and Wick, 1969)

3.4. สารประกอบที่ให้กลิ่นรส (flavor constituents)

องค์ประกอบของที่ให้กลิ่นรสคือสารระเหยในกล้วย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ bananalike flavor ได้แก่สารพวกเป็น amyl และ isoamyl เอสเทอร์ของกรดอะซิติก โพรไพโอนิก และบิวทีริก และ green woody หรือ mustry ได้แก่ สารประกอบพวกแอลกอฮอล์หรือคาร์บอนิล (Palmer, 1971)

3.5. กรดอินทรีย์

กรดที่พบมากในกล้วยคือกรดมาลิก และยังมีกรดออกซาลิกและกรดซิตริก กรดมาลิกจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในระหว่างการสุก ในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยา decarboxylation ของสารประกอบพวกออกซาเลต อีกทั้งยังเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของแทนนิน ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนที่เกิดขึ้นนี้มีผลทำให้ความฝาดของกล้วยลดลงเมื่อกล้วยสุก (Kotecha and Desai, 1995)

3.6. สารประกอบฟีนอลลิก

สารประกอบฟีนอลลิกที่พบในกล้วยคือ dopamine ซึ่งพบมากที่สุดคือ ในส่วนของเปลือก มีประมาณ 700 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด และในส่วนเนื้อพบประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด โดย dopamine จัดเป็นสับสเตรทของการเกิดปฏิกิริยา enzymatic browning ที่ส่งผลทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น ในระหว่างการสุกของกล้วยจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นของแทนนินทำให้ความฝาดของกล้วยลดลง (Kotecha and Desai, 1995)

3.7. เม็ดสี

ในระหว่างการสุกของผลกล้วยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกอย่างชัดเจน กล้วยดิบส่วนของเปลือกมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อกล้วยสุก โดยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังจากช่วง Climateric peak และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเต็มที่ภายใน 3-7 วันที่อุณหภูมิปกติ ในเปลือกกล้วยดิบประกอบไปด้วยคลอโรฟิลด์ 50-100 ไมโครกรัมต่อกรัม แซนโทฟิลด์ 5-7 ไมโครกรัมต่อกรัม และแคโรทีน 1.5-3.5 ไมโครกรัมต่อกรัม (ของน้ำหนักกล้วยสด) ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลด์จะสลายตัวหมด คงเหลืออยู่แต่เม็ดสีเหลืองในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ (Simmons, 1970)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ของเปลือกกล้วยสุกพบว่ามี alpha-carotene ร้อยละ 7 beta-carotene ร้อยละ 14 lutein ร้อยละ 33 และในส่วนเนื้อมี alphacarotene ร้อยละ 31 beta-carotene ร้อยละ 28 lutein ร้อยละ 56

3.8. เอนไซม์

ในผลกล้วยสุกมีกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด ทั้งไฮโดรไลติกและออกซิเดทีฟเอนไซม์ เอนไซม์ที่ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่พบได้แก่ โพลีกาแลคทูโรเนส เพคตินเมธิลเอสเทอร์เรส ลามินาริเนส แอลฟาแมนโนซิเดส เบต้ากาแลคโตซิเดส อะไมเลส เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส เอนโดเบต้าแมนนาเนส และกาแลคทาเนส ในระหว่างการสุกเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบเพคติน ได้แก่

เอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนสไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนกิจกรรมเอนไซม์เพคตินเมธิลเอสเทอร์เรสจะเพิ่มขึ้น หลังจาก climateric peak กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลสจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการสุกและจะลดลงเมื่อผลกล้วยสุกแล้วกิจกรรมเอนไซม์ไซแลนเนสและอะไมเลสคงที่ ในขณะที่เอนไซม์แอลฟาแมนโนซิเดสและลามินานิเลสจะมีกิจกรรมสูงในช่วง climateric ส่วนเอนไซม์เอนโดเบต้าแมนนาเนส และกาแลคทาเนสมีกิจกรรมต่ำในระหว่างการสุก (Prabha and Bhagyalakshmi, 1998)

3.9. ความแน่นเนื้อ

ผลกล้วยเมื่อเริ่มสุกจะเปลี่ยนแปลงลักษณะความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย โดยระหว่างการสุกปริมาณน้ำในเปลือกกล้วยและที่ก้านผลจะลดลง ส่วนความชื้นในเนื้อกล้วยจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มสุก เนื่องจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต และทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเนื้อและน้ำหนักของเปลือกเปลี่ยนไปโดยน้ำหนักของเนื้อจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่น้ำหนักในส่วนของเปลือกจะลดลง

3.10. วิตามิน

กล้วยมีวิตามินสูงแต่จะสูญเสียไปเมื่อถูกความร้อน กล้วยสดมีคุณค่าทางอาหารมากกว่ากล้วยแปรรูป ปริมาณของวิตามินซีในกล้วยสุกจะน้อยกว่าในกล้วยดิบ กล้วยน้ำว้าดิบ 100 กรัมมีปริมาณวิตามินซีอยู่ 30 มิลลิกรัม แต่เมื่อสุกปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 24 มิลลิกรัม และเมื่อสุกงอมปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือ 19 มิลลิกรัม และเมื่อแปรรูปเป็นกล้วยตากปริมาณวิตามินซีจะยิ่งลดลงเหลือเพียง 3 มิลลิกรัม (Kanazawa and Sakakibara, 2000)

4. ประโยชน์และความสุกของกล้วย

1. กล้วยดิบ เปลือกภายนอกสีเขียวเข้ม ช่วยแก้โรคกระเพาะเนื่องจากมีสารแทนนิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการเคลือบรักษากระเพาะและลาไส้ ป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งมีฤทธิ์ในการลดกรด (พิชญาดา, 2560)

2. กล้วยกึ่งดิบกึ่งสุก เปลือกภายนอกสีเหลืองแต่มีสีเขียวประปราย กล้วยห่ามมีโพแทสเซียมสูง จึงให้ผลดีกับผู้มีอาการท้องเสีย นอกจากนี้กล้วยห่ามยังช่วยหล่อลื่นลาไส้ และเพิ่มกากใยในการขับถ่าย สารเซโรโทนินยังช่วยออกฤทธิ์กระตุ้นให้ผนังกระเพาะอาหารสร้างเยื่อเมือกมากขึ้น ช่วยเคลือบแผลในกระเพาะอาหาร (พิชญาดา, 2560)

3. กล้วยสุก สีเหลืองสด เป็นยาระบายอ่อน ๆ ให้ผลดีกับคนที่มีอาการท้องผูก มีสารเพ็กตินอยู่มาก เพ็กตินเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้าได้ ช่วยเพิ่มกากใยในระบบทางเดินอาหารและที่สำคัญเป็นอาหารของแบคทีเรียในลำไส้หรือ prebiotic ตามธรรมชาติ (พิชญาดา, 2560)

4. กล้วยงอมหรือกล้วยสุกจัด ผิวคล้าไม่สดสวย เพิ่มภูมิต้านทานต่าง ๆ เพราะช่วยเพิ่มเซลล์เม็ดเลือดขาวและมีสารที่เรียกว่า TNF (Tumor necrosis factor) ซึ่งมีความสามารถในการต่อสู้กับเซลล์ที่ผิดปกติ (พิชญาดา, 2560)

กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า (Kluai Namwa) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa* ABB cv. กล้วยน้ำว้าเป็นการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี เป็นไม้ล้มลุกขนาดใหญ่ มีความสูงตั้งแต่ 2–9 เมตร มีลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่าเหง้า ส่วนที่โผล่ขึ้นมาเหนือดินแท้จริงไม่ใช่ลำต้น เป็นเพียงส่วนของก้านใบมีลักษณะที่เรียกว่ากาบห่อหุ้มเรียงสลับอัดกันแน่นดูคล้ายกับลำต้น ส่วนใบเป็นใบเดี่ยว แผ่นใบใหญ่ มีสีเขียว เรียกว่าใบตอง กล้วยน้ำว้ามีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เพาะปลูกง่าย รสชาติดี สำหรับสายพันธุ์ของกล้วยน้ำว้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสีของเนื้อกล้วย คือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลือง (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 2555)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้าในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	148
น้ำ (กรัม)	62.6
โปรตีน (กรัม)	1.1
ไขมัน (กรัม)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	35.4
กากใย (กรัม)	2.3
เถ้า (กรัม)	0.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	7
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	43
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.8
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	54
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	9
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.04
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.02
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.4
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	11

ที่มา : กองโภชนาการ (2544)

กล้วยไข่

กล้วยไข่ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn. ชื่อสามัญ Pisang Mas ชื่อพ้อง กล้วยกระ กล้วยเจ๊กบอง แหล่งที่พบ พบได้ทุกภาคของประเทศ ลักษณะทั่วไป ลำต้นสูง 2.5–3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 16–20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวปนเหลือง มีประสีน้ำตาลอ่อน ด้านในสีชมพูอมแดง ใบ ก้านใบสีเขียวอมเหลือง มีร่องกว้าง โคนก้านมีครีบสีชมพู ดอก ก้านช่อดอกมีขนอ่อน ปลีรูปไข่ ม้วนงอขึ้น ปลายแหลม ด้านนอกสีแดงอมม่วง ด้านในที่โคนกลีบสีซีด ผลเครือหนึ่งมี 6–7 หวี หวีหนึ่งประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก ก้านผลสั้น เปลือกผลบางเมื่อสุก มีสีเหลืองสดใสบางครั้งมีจุดดำเล็ก ๆ ประปราย เนื้อสีครีมอมส้ม รสหวาน (เบญจมาศ, 2545)

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	147
น้ำ (กรัม)	62.8
โปรตีน (กรัม)	1.5
ไขมัน (กรัม)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	34.8
กากใย (กรัม)	1.9
เถ้า (กรัม)	0.7
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	4
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	23
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	492
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	82
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.03
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.05
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.4
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	2

ที่มา : กองโภชนาการ (2544)

กล้วยหอม

กล้วยหอมทอง หรือกล้วยหอม ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa* (AAA group) "Kluai Hom thong" ลักษณะลำต้นสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำ ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นลายสีชมพู ใบ ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีกเส้นกลางใบสีเขียว ดอก ก้านเครือมีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านในสีแดงชีด ผล เครือหนึ่ง มี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง แต่ที่ปลายจุกจะมีสีเขียว แล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน (วิศวัสต์, 2553)

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยหอมในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	132
น้ำ (กรัม)	66.3
โปรตีน (กรัม)	0.9
ไขมัน (กรัม)	0.2
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	31.7
กากใย (กรัม)	1.9
เถ้า (กรัม)	0.9
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	26
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	46
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.8
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)	99
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	17
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.04
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.07
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.1
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	27

ที่มา : กองโภชนาการ (2544)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำในหลอดทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลอง (*in vitro* Digestibility) เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ไม่จำเป็นต้องทดลองกับสัตว์โดยตรง ผู้ผลิตอาหารหรือโรงงานผลิตอาหารสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวัตถุดิบอาหาร และการย่อยได้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารตรวจสอบกรรมวิธีการผลิต ปรับปรุงวัตถุดิบราคาถูกให้เป็นวัตถุดิบอาหารที่ดีสำหรับเกษตรกร สามารถตรวจสอบเพื่อคัดเลือกอาหารที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมกับศักยภาพการย่อยของสัตว์ ข้อดีของ *in vitro* digestibility คือ สะดวก ใช้เวลาน้อย สามารถเลือกใช้วัตถุดิบที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ลดต้นทุนการผลิต และปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยในหลอดทดลองยังมีประโยชน์ต่อการคัดเลือกวัตถุดิบในสูตรอาหารสัตว์ เนื่องจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการย่อยวัตถุดิบแต่ละชนิดของสัตว์และยังสามารถใช้เพื่อพยากรณ์เกี่ยวกับผลของอาหารต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตได้ (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน (protein digestibility)

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกัน มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ทำให้มีขนาดหรือน้ำหนักเพิ่มขึ้น ปลาที่ได้รับปริมาณโปรตีนเพียงพอต่อความ ต้องการจะมีการเจริญเติบโตเป็นปกติการศึกษาพบว่าปลากินเนื้อมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ดีกว่า ปลากินพืชและสัตว์และปลากินพืชตามลำดับ (วีรพงษ์, 2536) โดยโปรตีนที่มาจากสัตว์จะย่อยได้ง่ายกว่าโปรตีนจากพืช ปลาส่วนใหญ่จะสามารถใช้แหล่งโปรตีนที่มาจากสัตว์ได้ดีกว่า เอนไซม์ย่อยโปรตีนของปลาสามารถพบได้ในกระเพาะอาหารและลำไส้ เอนไซม์ที่พบในกระเพาะอาหารของปลาที่สำคัญคือ เปปซิน (pepsin) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และปลากินเนื้อจะมีประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์มากกว่าปลากินพืช ส่วนเอนไซม์ที่พบในลำไส้จะมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ทริปซิน (trypsin)ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) คาร์บอกซีเพปติเดส (carboxypeptidase) และอีลาสเตส (elastase) เป็นต้น

ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate digestibility)

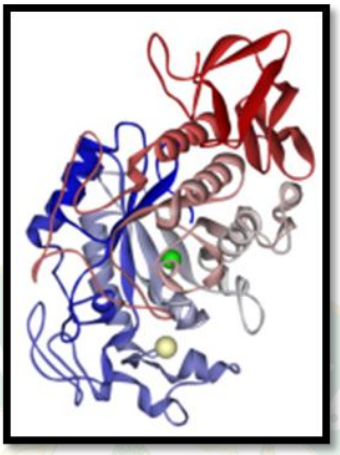
คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติในรูปของสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) เช่น แป้งไกลโคเจน และเซลลูโลส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลองพบว่า

ประสิทธิภาพการ ย่อยแป้งขึ้นอยู่กับชนิด โครงสร้าง ปริมาณและความสุกโดยการทำให้แป้งสุก พบว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยให้สูงขึ้นอีกร้อยละ 25-30 คาร์โบไฮเดรตที่ปลากินเป็นอาหาร ได้แก่ แป้ง น้ำตาลและเซลลูโลส โดยปลาสามารถย่อยน้ำตาลได้ดีกว่าแป้งและย่อยแป้งได้ดีกว่าเซลลูโลส การศึกษาด้านการดูดซึมไปใช้ประโยชน์พบว่าปลาจะใช้ประโยชน์จากแป้งได้มากที่สุด เนื่องจากเมื่อแป้งถูกย่อยเป็นน้ำตาลจะถูกดูดซึมไปอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยน้ำตาลซึ่งจะย่อยและดูดซึมเร็วกว่า ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของปลาจะขึ้นอยู่กับชนิดของปลาโดยพบว่าปลากินพืชมีเอนไซม์ย่อย คาร์โบไฮเดรตมากกว่าปลากินเนื้อจึงทำให้สามารถดูดซึมคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลากินพืชและเนื้อและ ปลากินเนื้อตามลำดับ ดังนั้น ปริมาณแป้งที่เหมาะสมในอาหารปลากินพืช ปลากินพืชและเนื้อและปลากินเนื้อควรอยู่ระหว่างร้อยละ 40-50, 30-40 และ10-20 ตามลำดับ (กลุ่มวิจัยอาหารสัตว์น้ำ, 2534)

เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่พบในกระเพาะอาหารและลำไส้ได้แก่แอลฟา-อะไมเลส (**α**-amylase) กลูโคซิเดส (glucosidase) มอลเทส (maltase) ซูเครส (sucrase) แลคเตส (lactase) และเซลลูเลส (cellulase) เป็นต้น โดยแอลฟา-อะไมเลสเป็นเอนไซม์สำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้เป็นกลูโคสและ มอลโทส ซึ่งจะย่อยแป้งที่พันธะไกลโคซิดิกชนิดอัลฟา (**α**-1,4 glucosidic bond) เอนไซม์ดังกล่าวของปลา กินพืชและเนื้อและปลากินพืชส่วนใหญ่จะได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้ ผนังกระเพาะอาหาร ตับอ่อน ตับ และไพโลริค ซีกา ในขณะที่ปลากินเนื้อส่วนใหญ่มักจะหลั่ง ออกมาจากตับอ่อนแหล่งเดียวเท่านั้น สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตจะอาศัยการย่อยของอะไมเลสเป็นหลัก ดังนั้น จึงสามารถใช้ค่ากิจกรรมของอะไมเลสในการเทียบมาตรฐาน (standardization) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การย่อยคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน

เอมไซม์ย่อยอาหาร

1. เอมไซม์ amylase



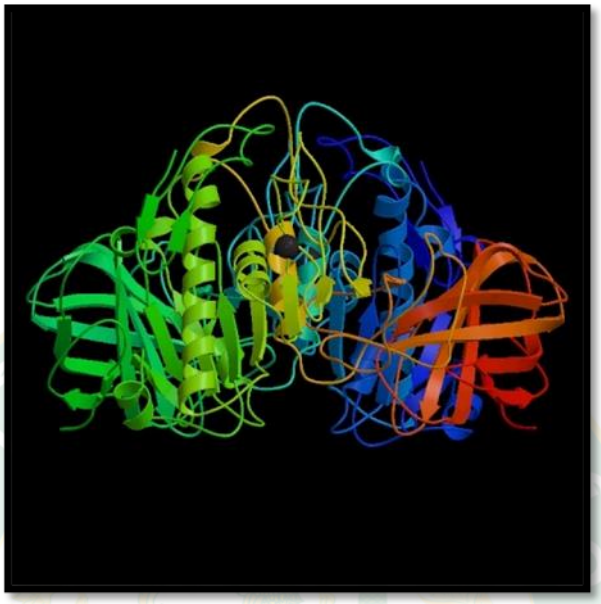
ภาพที่ 2 โครงสร้างเอนไซม์ amylase
ที่มา: Ramasubbu et al. (1996)

อะไมเลส (amylase) เป็นเอนไซม์ extracellular enzyme ในปลากินพืช และปลากินเนื้อส่วนใหญ่จะได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้ กระเพาะอาหาร ตับอ่อน ตับ และไส้ติ่ง ในขณะที่ปลากินเนื้อส่วนใหญ่ เช่น ปลากะพง ปลาเรนโบว์เทร้า เป็นต้น มักจะหลั่งออกมาจากตับอ่อนแหล่งเดียวเท่านั้นจึงทำให้ปลากินเนื้อมีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่ดี เพราะหลั่งเอนไซน์ออกมาในปริมาณที่น้อยกว่า (วีรพงษ์, 2536) อะไมเลสทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ α-D-1, 4-glycosidic ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง (starch) ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมเลส (amylase) และอะไมโลเพนติก (amylopectin) อะไมเลสสามารถย่อยสลาย อะไมเลสได้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ และส่วนใหญ่ได้เป็นไดแซ็กคาไรด์ คือ มอลโทส อะไมเลสมีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 ดาลตัน ถูกกระตุ้นด้วยคลอไรด์ โบรไมด์ และฟลูออไรด์ไอออนและถูกยับยั้งปฏิกิริยาโดยโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท มี pH ที่เหมาะสมในช่วง 6.5-8.0 เอนไซน์อะไมเลสแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามตำแหน่งของการย่อยแป้ง

2. เอนไซม์ lipase

เอนไซม์ lipase ได้มาจากการหลั่งของผนังลำไส้และตับอ่อน เป็นเอนไซม์ ที่ย่อยโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ให้ได้กรดไขมัน พบในระบบการย่อยของมนุษย์ และสัตว์ ผลิตได้จากแบคทีเรีย รา lipase จะทำงานร่วมกับน้ำดีซึ่งมีกรดโคลิก และกรดทอโรเซนโนเดสออกซีโคลิก เป็นองค์ประกอบ

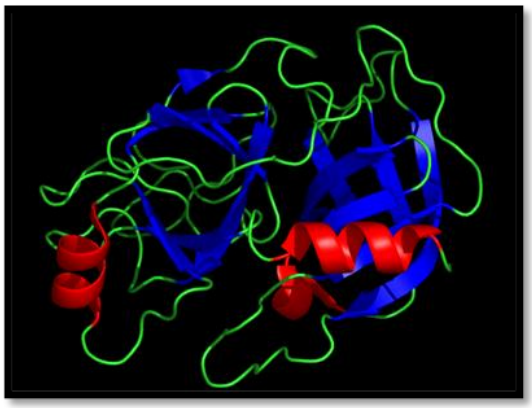
ส่วนใหญ่ โดยจะทำหน้าที่ร่วมกันย่อยไขมันอย่างประสิทธิภาพเนื่องจากกรดเหล่านี้รวมทั้งน้ำดีจะช่วยทำให้ไขมันมีพื้นที่ผิวมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 3 โครงสร้างเอนไซม์ lipase
ที่มา: Winkler et al. (2003)

3. เอมไซม์ trypsin

เป็นเอนไซม์สำหรับย่อยพันธะเปปไทด์ของสายเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีน นอกจากนั้นทริปซินยังมีความสามารถในการย่อยอะไมด์และเอสเทอร์ได้ด้วย ซึ่งอะไมด์จะถูกย่อยได้เร็วกว่าเปปไทด์ และเอสเทอร์ถูกย่อยได้เร็วที่สุด ดังนั้นทริปซินจึงมีคุณสมบัติในการเป็นอะมิเดส (amidase) และเอสเตอเรส (esterase) ด้วยพีเอชที่เหมาะสมคือ 7.5-8.5 สร้างขึ้นจาก acinar cell ของตับอ่อน ในสภาพที่เป็นตัวตั้งต้นของเอมไซม์ คือ trypsinogen ซึ่งเป็น polypeptide chain สายเดียว เมื่อถูกกระตุ้นฤทธิ์โดย enterokinase (enteropeptidase) จะเปลี่ยนไปเป็นทริปซินซึ่งเป็น polypeptide chain สายเดี่ยว isoleucine เป็นกรดอะมิโนที่อยู่ทางปลายด้าน N-terminal



ภาพที่ 4 โครงสร้างเอนไซม์ trypsin
ที่มา: Kiel (1971)

4. เอมไซม์ chymotrypsin

เป็นเอนไซม์สำหรับย่อยโปรตีนและโพลีเปปไทด์ต่าง ๆ ที่เกิดจากการย่อยด้วยเอนไซม์เปปซิน และทริปซิน มีพีเอชที่เหมาะสมประมาณ 7.5-8.5 สร้างขึ้นจาก acinar call ของตับอ่อนในสภาพที่เป็นตัวตั้งของเอมไซม์ 2 ชนิด คือ ไคโมทริปซิโนเจนเอ (หรือแอลฟา) และ ไคโมทริปซิโนเจนบี

ภาพที่ 5 โครงสร้างเอนไซม์ chymotrypsin
ที่มา: Ramasubbu et al. (1996)

ระบบภูมิคุ้มกันของปลา

ปลาจัดเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดแรกที่มีระบบภูมิคุ้มกันคล้ายกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม คือ ประกอบด้วยระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (innate immune system) และภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (adaptive immune system) องค์ประกอบของทั้งสองระบบ สามารถแบ่งออกได้เป็นภูมิคุ้มกันแบบ

พึ่งเซลล์ (Cell-mediated immunity หรือ CMI) และภูมิคุ้มกันแบบสารน้ำ (Humoral-mediated immunity หรือ HMI) การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเกิดได้อย่างรวดเร็ว แต่คงอยู่เพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ ไม่มีความจำเพาะกับสิ่งแปลกปลอมและไม่มีการจดจำ (no memory) ในขณะที่ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะอาศัยการทำงานของเซลล์ลิมโฟไซต์ ได้แก่ T และ B cells ถึงแม้การทำงานของลิมโฟไซต์จะใช้ระยะเวลานานในการกระตุ้นและตอบสนอง แต่มีความจำเพาะและสามารถจดจำสิ่งแปลกปลอมชนิดต่าง ๆ ทำให้การตอบสนองในครั้งถัดมามีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าครั้งแรกลักษณะสำคัญของระบบภูมิคุ้มกันในปลาที่แตกต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม คือ ปลาไม่มีต่อมน้ำเหลือง (lymph node) ไม่มีไขกระดูก (bone marrow) ไม่มีการสร้าง germinal centers ในอวัยวะน้ำหลืองและไม่มีกระบวนการ isotype switching ทำให้ IgM เป็นแอนติบอดีหลักในการควบคุมเชื้อโรคในปลา (Alvarez-Pellitero, 2008; Workenhe et al., 2010)

องค์ประกอบของระบบภูมิคุ้มกันในปลา

ระบบภูมิคุ้มกันในปลาประกอบด้วยอวัยวะที่ทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและพัฒนาของเซลล์เม็ดเลือดขาว อวัยวะที่สำคัญได้แก่ ไตส่วนหน้า (anterior kidney) ม้าม (spleen) และต่อมไทมัส (thymus) (Workenhe et al., 2010; Zapata et al., 2006) ไตส่วนหน้าทำหน้าที่คล้ายกับไขกระดูกในสัตว์ชั้นสูง คือ เป็นอวัยวะที่รองรับการพัฒนาของ B lymphocytes คอยดักจับแอนติเจนในเลือด และเป็นแหล่งสร้างแอนติบอดีม้ามเป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดในลูกปลาและทำหน้าที่ดักจับแอนติเจนในเลือด ส่วนต่อมไทมัสเป็นอวัยวะที่รองรับการพัฒนาของ T lymphocytes นอกจากอวัยวะที่กล่าวแล้ว ตับ (liver) ของปลา ยังทำหน้าที่ผลิตสารน้ำที่เกี่ยวข้องในระบบภูมิคุ้มกัน เช่น โปรตีนเฉียบพลัน (acute phase proteins) ซีรั่มโปรตีนและส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบคอมพลีเม้นท์ (complement proteins) (Huttenhuis et al., 2006) อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันอีกกลุ่ม คือ ภูมิคุ้มกันบริเวณเยื่อบุทางเดินอาหาร (Gut associated lymphoid tissue; GALT) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ ได้แก่ lymphocytes macrophages และ granulocytes (Rombout et al., 2011)

ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะในปลาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. ผิวหนังและเยื่อบุต่าง ๆ ซึ่งเป็นด่านแรกที่สัมผัสกับสิ่งแปลกปลอมบริเวณผิวหนังของปลามีการสร้างเมือก (mucus) ซึ่งประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียหรือปรสิต ได้แก่ อิมมูโนกลอบูลิน สารเปปไทด์ต้านจุลชีพ (antimicrobial peptides) และไลโซไซม์ (lysozyme) (Ellis, 2001) สารกลุ่มนี้จะสร้างออกมามากขึ้นเมื่อปลามีการติดเชื้อ โดยจะสังเกตได้จากสีของลำตัวปลามีสีขาวขุ่น และเมื่อเอามือลูบตามผิวหนังหรือเกล็ด จะพบลื่นกว่าปกติ

2. สารน้ำต่าง ๆ (innate humoral immune response) ได้แก่ระบบคอมพลีเม้นท์ ซึ่งทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคด้วยการทำให้เกิดรูบนผิวเซลล์เป้าหมาย โปรตีน lectins ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการ opsonization และ agglutination โปรตีนกลุ่ม C-reactive proteins และ serum amyloid P ซึ่งช่วยในกระบวนการรับรู้การติดเชื้อ สารเปปไทด์ต้านจุลชีพที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และสารไซโตคัยน์กลุ่ม interferon ที่ทำหน้าที่กระตุ้นภูมิคุ้มกันต่อเชื้อ (Alvarez-Pellitero, 2008; Ellis, 2001; Magnadóttir, 2006)

3. เซลล์ (innate cellular immune response) แบ่งเป็นเซลล์กลุ่มที่ทำหน้าที่เก็บกินสิ่งแปลกปลอม (phagocytic cells) ได้แก่ macrophages และ neutrophils การทำลายสิ่งแปลกปลอมอาศัยสารในกลุ่ม reactive oxygen species และการทำงานของเอนไซม์ที่ออกฤทธิ์ย่อยทำลายเซลล์เชื้อโรค เซลล์อีกชนิดที่พบในปลา คือ กลุ่ม non-specific cytotoxic cells ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับ natural killer cells คือทำลายเซลล์ที่ติดชื้อไวรัสและเซลล์มะเร็ง (Esteban et al., 2008) นอกจากเซลล์ที่กล่าวไปแล้ว ปลายังมีเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันอื่น ๆ ได้แก่ eosionophils, dendritic cells และ thromobocytes

ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะในปลาประกอบด้วย

1. สารน้ำ ได้แก่ อิมมูโนกลอบูลิน หรือแอนติบอดี แอนติบอดีทำหน้าที่ป้องกันการติดเชื้อในซีรั่มและบริเวณเยื่อบุต่าง ๆ อิมมูโนกลอบูลิน ในปลาสร้างมาจาก B cells และ plasma cells จากรายงานในปัจจุบันพบว่า ปลามีแอนติบอดี 3 ประเภท คือ IgM, IgD และ IgT โดย IgM เป็นแอนติบอดีที่มีบทบาทสำคัญในเลือด IgD พบบนผิว ของ B cells ส่วน IgT ทำหน้าที่คล้ายกับ IgA ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยเกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันบริเวณเยื่อบุ (Fillatreau et al., 2013)

2. เซลล์ลิมโฟไซต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดสำคัญคือ B และ T cells โดย T cells แบ่งออกเป็น CD4+ และ CD8+ T cells (Laing and Hansen, 2011) หน้าที่ของ T cells ทั้ง 2 กลุ่มคล้ายกับในสัตว์ชั้นสูง คือ CD4+ T cells ทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเซลล์อื่น (Toda et al., 2011) และ CD8+ T cells คอยตรวจและทำลายเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส (Somamoto et al., 2009) การตอบสนองของ T cells อาศัยการนำเสนอแอนติเจนบนโมเลกุลเรียก major histocompatability complex (MHC) ทั้ง class I และ II โดยที่ dendritic cells เป็นเซลล์สำคัญในการนำเสนอแอนติเจนต่อ T cells (Lugo-Villarino et al., 2010) นอกจากเซลล์และสารชนิดต่าง ๆ แล้ว การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและการกระตุ้นกระบวนการอักเสบในปลา ยังถูกควบคุมผ่านไซโตไคน์หลายชนิด เช่น interleukine- 1β (IL-1β) tumor necrosis factor-α(TNF-α), IL-2, IL-6, IL-18, และ type I and type II interferon

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rattanavichai and Cheng (2015) ได้ทดลองใช้กล้วยระยะสุกงอมผสมอาหาร เลี้ยงกุ้งก้ามกราม พบว่า ประสิทธิภาพการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งสูงขึ้น มีการเพิ่มขึ้นในการตอบสนองภูมิคุ้มกัน ความต้านทานต่อการติดเชื้อ *Lactococcus garvieae* และเสริมสร้างความสามารถในการป้องกันความเครียดจากภาวะอุณหภูมิต่ำ (hypothermal)

Felix et al. (2020) ได้ใช้กล้วยแทนข้าวโพดป่น ในการเลี้ยงปลาคู้ดำ (*colossoma macropomum*) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (0, 8, 16, 24 และ 32%) ศึกษาการเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกัน พบว่าความเข้มข้นของการแทนที่ด้วยกล้วยในสูตรอาหารที่ 8% ให้ผลการเจริญเติบโตและระบบภูมิคุ้มกันดีที่สุด

อาจารย์ประจำสำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ กล่าวว่าปัจจุบันนี้เกษตรกรได้หันมาใช้กล้วยน้ำว้าในการเลี้ยงกุ้งมากขึ้น เพราะเห็นว่ากล้วยน้ำว้าจะอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารสูง ซึ่งคุณค่าของกล้วยน้ำว้าจะมีทั้ง คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ วิตามิน เมื่อนำมาเลี้ยงกุ้งก็สามารถทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น โดยเฉพาะแร่ธาตุในกล้วยน้ำว้าจะช่วยในการให้กุ้งมีการลอกคราบ ส่วนวิตามินที่มีหลากหลายชนิดก็ยังสามารถช่วยในเรื่องการกระตุ้นในการกินอาหารของกุ้งด้วยเช่นกัน (สารานุกรมความรู้, 2557)

อ.ชัยพล สำเภาจันทร์ ผู้อำนวยการศูนย์เกษตรแนวใหม่ และที่ปรึกษาโครงการผลิตสัตว์ปลอดสารพิษ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ กล่าวว่าชนิดของกล้วยที่ใช้กับสัตว์ได้ อาทิ กล้วยน้ำว้า ซึ่งมีข้อดีที่หาง่าย ราคาไม่แพง มีคุณค่าทางอาหารสูง ส่วนกล้วยหอม มีคุณค่าทางอาหารสูงมากเช่นกันแต่ราคาค่อนข้างแพง เก็บรักษายาก ไม่นิยมนำมาให้กุ้งเพราะต้นทุนจะสูงเกินไป (สารานุกรมความรู้, 2557)

นันท์นภัส และคณะ (2562) ศึกษาผลของการใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคจากการติดเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิล น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 162.82 ± 1.14 กรัม ให้อาหารผสมกล้วยน้ำว้าที่ระดับ 0, 1.0, 5.0 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารไม่มีผลต่อค่าทางโลหิตวิทยาของปลานิล ($P>0.05$) โดยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาว ค่า haematocrite index และค่า lysozyme activity ของปลาทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ปลากลุ่มที่ได้รับกล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารทุกกลุ่มทดลองมีค่า nitroblue tetrazolium activity และ superoxide dismutase สูงกว่าปลานิลกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการศึกษาความต้านทานโรคต่อเชื้อ *S. agalactiae* ในห้องปฏิบัติการ โดยการฉีดเชื้อ *S. agalactiae* ความเข้มข้น 1 X 10^8 เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เข้าทางช่องท้องพบว่า ปลานิลกลุ่มที่

เลี้ยงด้วยอาหารเสริมกล้วยน้ำว้ามีอัตราการรอดและเปอร์เซ็นต์การรอดตายสัมพัทธ์สูงกว่าปลานิลกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P<0.05*) ปลานิลกลุ่มที่ได้รับกล้วยน้ำว้าเสริมในอัตรา 10.0 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร มีค่าอัตราการรอดสูงที่สุดเท่ากับ 65.55 ± 3.85 และอัตราการรอดตายสัมพัทธ์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ปลานิลกลุ่มที่ได้รับกล้วยน้ำว้าเสริมในอัตรา 5.0 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปลากลุ่มควบคุมมีอัตราการรอดต่ำที่สุด จากการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหาร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและความสามารถในการต้านทานเชื้อโรคจากการติดเชื้อ *S. agalactiae* ของปลานิล

กัญช์ และคณะ (2553) ศึกษาผลการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch) ต่อการเสริมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 1.5 ของน้ำหนักอาหาร นาน 47 วัน โดยเปรียบเทียบจำนวนเม็ดเลือดขาวรวมในเลือด (Total white blood cells count, TWC), ประสิทธิภาพการจับกินสิ่งแปลกปลอม (Phagocytosis percentage (PP) และ Phagocytosis Index (PI)) และการสร้างสารซุปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธี Nitroblue tetrazolium reduction assay (NR) ของเม็ดเลือดขาวจากไตส่วนหน้า (Head kidney leukocytes: HKL) พบว่า การเสริมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักอาหาร นาน 26 และ 36 สัปดาห์ มีผลให้ TWC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (*P<0.05*) ในขณะที่การเสริมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักอาหาร นาน 47 วัน มีผลให้ PP และ PI เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (*P<0.05*) แต่ไม่มีผลต่อ NR อย่างไรก็ดี การเสริมไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักอาหาร ให้ผลด้านการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมอาหารด้วยไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักอาหาร สามารถช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันชนิดไม่จำเพาะในปลากะพงขาวได้

ธนาวัฒน์ และคณะ (2557) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยด้วยวิธี *in vitro* protein digestibility ในวัตถุดิบอาหารได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และรำ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลาโมง โดยในการศึกษานี้ ทดลองในปลาโมง 2 ขนาด คือขนาดเล็กน้ำหนักเฉลี่ย 30-40 กรัม/ตัว และขนาดใหญ่น้ำหนักเฉลี่ย 80-100 กรัม/ตัว พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในกระเพาะอาหารของปลาโมงทั้ง 2 ขนาดมีแนวโน้มสูงที่สุดที่ pH 8 ในส่วนของลำไส้ กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในลำไส้ปลาขนาดเล็กและใหญ่มีแนวโน้มสูงสุดที่ pH 12 และ pH 10 จากผลการศึกษา พบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในปลาป่น จากเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะอาหาร และลำไส้ในปลาขนาด เล็ก มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น (*P*<0.05)

ธนากร และดวงใจ (2559) การศึกษาการใช้กล้วยหอมทองในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วยอาหารที่ผสมกล้วย 4 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการทดลองนี้จะทำการเลี้ยงปลานิลอายุ 60 วันในกระชัง จำนวน 100 ตัว/กระชัง นาน 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ปลานิลมีอัตรา การ

เจริญเติบโตและ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดควบคุมมีอัตราการ รอดตายสูงที่สุด เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. ลูกพันธุ์ปลาหมอไทย
2. กระชังอวนโพลี ขนาด 1×1×1 เมตร
3. อาหารเม็ดปลาดุกสำเร็จรูปขนาดเล็ก เบอร์ 9920 บริษัท เจริญโภคภัณฑ์
4. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
5. เครื่องอัดอาหาร
6. เครื่อง Spectrophotometer
7. เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ
8. เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ
9. เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบเลือด

วิธีการทดลอง

1. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร

ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนการของอาหารและวัตถุดิบในการทดลอง ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (1984) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปัจจัยและวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอาหาร

ปัจจัยที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือ
ความชื้น (moisture)	โดยการอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
เถ้า (ash)	โดยการเผาใน muffle furnace องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
โปรตีน (protein)	โดย micro - Kjeldahl
ไขมัน (lipid)	โดยวิธี dichloromethane extraction ตาม Soxlhet method
เยื่อใย (fiber)	โดยวิธี fritted glass crucible

2. *In vitro* digestibility

1) การเตรียมสัตว์ทดลอง

เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลาหมอไทย โดยใช้ปลาหมอไทยขนาด 13-15 กรัม จำนวน 10-15 ตัว จากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หลังจากให้อาหารเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการสกัดเอนไซม์ย่อยอาหาร

2) การเตรียม Crude enzyme extract

บดลำไส้ปลาหมอไทย ด้วยเครื่อง homogenizer เติม phosphate buffer, pH 8 ลงในสำไส้ที่ทำการบด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30-60 นาที แยกส่วนใส (supernatant) ของ crude enzyme extract สำหรับ ใช้ศึกษาทั้ง trypsin และ chymotrypsin โดยให้แบ่งเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็น portion เล็ก ๆ สำหรับแยกนำมาใช้แต่ละครั้ง

3) ศึกษาความสามารถในการย่อยอาหาร

3.1) วิธีหาค่า *In vitro* digestibility

นำวัตถุดิบอาหารทั้ง 10 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยหอมสุก กล้วยไข่ดิบและกล้วยไข่สุก มาบดให้ละเอียดด้วย homogenizer เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอน *in vitro* digestibility โดยดัดแปลงวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2002) โดยชั่งน้ำหนักประมาณ 20 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอนของวัตถุดิบอาหารที่บดทั้ง 10 ชนิด เติม 40 ml mM phosphate buffer, pH 8.2 แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer เติม 200 µl 0.5% chloramphenicol แล้วผสมให้เข้าด้วยกัน vortex mixer นำไป incubate ใน shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1.5 ml (control) เติม 250 µl dialyzed crude enzyme extract จากชนิดสัตว์ที่ต้องการทดสอบ ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer แล้วนำไป incubate ใน shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1,000 µl นำไปต้มน้ำเดือดทันที เวลา 10 นาที แล้วแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการ DNS (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

ผสม Control ที่ละลายแล้วให้เข้ากันด้วย vortex mixer นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ เป็นเวลา 10 นาที ใช้ 250 µl control เติม 250 µl 1% DNS ละลายใน 2 M NaOH และ 0.6% sodium potassium tartrate ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่น 2.5 ml ผสมให้เข้ากันด้วย vortex

mixer แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm หาค่าปริมาณ reducing sugar โดยเปรียบเทียบกับ maltose standard curve

วิธีคำนวณ แสดงหน่วยของค่า *in vitro* digestibility ของคาร์โบไฮเดรตโดย μmol maltose/g feed/amylase activity ใช้ค่า amylase activity ที่ใช้ในการย่อยไปหาร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีน โดยวิธี TNBS (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

ผสม control ที่ละลายแล้วให้เข้ากันด้วย vortex mixer ใช้ 200 μl control เติม 2 ml 50 mM phosphate buffer pH 8.2 แล้วผสมให้เข้าด้วยกันด้วย vortex mixer เติม 1 ml 0.1% TNBS ใน 50 mM Phosphate buffer pH 8.2 แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นำไป incubate ในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติม 1 ml HCl แล้วผสมให้เข้าด้วยกันด้วย vortex mixer ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm หาค่าปริมาณ free amino group โดยเปรียบเทียบกับ DL-alanine standard curve

วิธีคำนวณ แสดงหน่วยของค่า *in vitro* digestibility ของโปรตีนโดย μmol DL-alanine equivalent/ g feed /trypsin activity (ใช้ค่า trypsin activity ที่ใช้ในการย่อยไปหารเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ)

3.2) วิธีหาค่า Amylase activity

ผสม 50 μl 10% starch + 150 μl 10 mM NaCl + 45 μl buffer + 5 μl enzyme นำไปบ่มเวลา 5–10 นาที เช็คค่า OD ก่อน ถ้าค่าไม่ถึง 0.1 ต้องทำใหม่โดยเพิ่มเวลา เติม 250 μl DNS นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที cool down ในที่มืดสม่ำเสมอ เติมน้ำกลั่น 2 ml เพื่อเจือจาง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน maltose

3.3) วิธีหาค่ากิจกรรมจำเพาะของทริปซิน และไคโมทริปซิน

วิธีเตรียม specific substrates

ละลาย Bensoyl-L-arginine-p-nitroanilide (1.25 mM) สำหรับ trypsin substrateหรือ N-Succinyl-ala-ala-pro-phe-p-nitroanitroanilide (0.10 mM) สำหรับ Chymotrypsin substrate ใน Dimethylformamide ก่อน โดยกำหนดให้ Dimethylformamide มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงปรับปริมาตรด้วย 0.2 M Tris-HCl buffer pH 8.4 สามารถเก็บ substrates ได้ที่อุณหภูมิห้อง จะตกตะกอนเมื่อเก็บในตู้เย็น และหยุดใช้ substrates เมื่อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม

วิธีหาปริมาณโปรตีน crude enzyme extract ใช้วิธีของ Lowry (Lowry et. al., 1951)

วิธีศึกษา enzyme activity

ดูด 10 µl crude enzyme extract ใส่ลงในก้น cuvette แล้วนำ cuvette ไปใส่ในช่อง spectrophotometer ที่ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการไว้แล้วโดยใช้ substrates ของเครื่องวัด ดูด 1000 µl ของ pre-heated specific substrate ที่อุ่นไว้ที่อุณหภูมิที่ 50-60 องศาเซลเซียส ควรปิดหลอดในขณะที่อุ่น เพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของ substrate เปลี่ยนแปลง เติมลงในด้านข้างของ cuvette จะช่วยทำให้ผสมกันได้ดีทันทีกับ crude enzymes extract วัดค่าดูดกลืนแสงทันทีที่ 410 nm โดยวัด initial reaction ภายในเวลา 10 วินาที ถ้ามีเครื่องวัดธรรมดาให้จดค่าที่เวลา 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที หาค่า slope ของ initial velocity ซึ่งจะแสดงเป็นค่าการเปลี่ยนแปลง A410 ต่อวินาที สร้างกราฟระหว่างค่า เวลาแกน X โดยให้เริ่มต้นที่ 1 วินาที และ A410 แกน Y เพื่อหาค่า Slope เปรียบเทียบกับ p-Nitroaniline standard curve เพื่อหาค่าปริมาณของ p-Nitroaniline ที่เกิดขึ้นต่อวินาที

วิธีคำนวณ แสดงหน่วยของค่า กิจกรรมจำเพาะ ของ trypsin และ chymotrypsin โดย µmol p-Nitroaniline ที่เกิดขึ้น ต่อชั่วโมง ต่อ มิลลิกรัมโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณ protein โดยวิธีของ Lowry et al. (1951) และเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟ มาตรฐานของสารละลาย bovine serum albumin (BSA)

เตรียม BSA solution 1 mg/ml

เตรียม A : B : C solution = 100 : 1 : 1

A: Sodium carbonate (Na_2Co_3) 20 g + H_2O 960 ml + 3N NaOH 35ml

B: $CuSO_4$.$_5H_2O$ 1g + H_2O 100 ml

C: Potassium sodium tartrate 2g + H_2O 100 ml

เตรียม Folin - Ciocalteu โดยเจือจางด้วยน้ำ 1 : 1 ก่อนใช้ BSA หรือ unknown 100 µl + solution A : B : C = 100 : 1 : 1 3 ml ละลาย B กับ C ก่อน จากนั้นเติม A ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เติม Folin - Ciocalteu โดยเจือจางด้วยน้ำ 1 : 1 ปริมาตร 300 µl ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 nm ทำ standard BSA (Bovine serum albumin)

3. ศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารเสริมด้วยกล้วยต่างชนิดกัน

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง (treatment) จากกล้วยต่างชนิด ผสมในอาหาร แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยปล่อยลูกปลาหมอไทยในอัตรา 50 ตัว/กระชัง เลี้ยงในกระชังอวนโพลีขนาด 1×1×1 เมตร อาหารที่ทดลองเป็นอาหารปลาดุกเม็ดสำเร็จรูป และอาหารผสมกล้วยต่างชนิด (กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า) เป็นอาหารทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน โดยการนำวัตถุดิบทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วเคลือบด้วยน้ำมันพืช จากนั้นผึ่งให้แห้งและบรรจุถุงเก็บไว้ในตู้เย็น อัตราการให้อาหารตลอดการทดลองของทุกการทดลอง คือ 5% ของน้ำหนักตัว/วัน วันละ 2 ครั้ง (08.00-09.00 น. และ 16.00-17.00 น.) ปรับปริมาณอาหารที่ให้ทุก 15 วัน โดยแบ่งชุดการทดลองได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารเม็ดปลาดุกสำเร็จรูปขนาดเล็ก เบอร์ 9920 บริษัท เจริญโภคภัณฑ์

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารเสริมกล้วยหอม

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารเสริมกล้วยไข่

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารเสริมกล้วยน้ำว้า

การเตรียมหน่วยการทดลอง

เตรียมกระชังอวน ขนาด 1×1×1 เมตร (กว้าง×ยาว×ความลึก) ในบ่อดิน และใช้วัสดุไม้ไผ่พยุงกระชังให้ก้นกระชังอยู่เหนือระดับพื้นบ่ออย่างน้อย 10 เซนติเมตร รักษาระดับกระชังให้ขอบด้านบนของกระชังอยู่เหนือผิวน้ำ 20 เซนติเมตร เพื่อให้มีส่วนของกระชังแช่อยู่ในน้ำ 70–80 ตลอดการทดลองจำนวน 12 กระชัง

สัตว์ทดลอง

จัดซื้อลูกปลาหมอไทยขนาดประมาณ 7 กรัม จากฟาร์มเพาะเลี้ยงในจังหวัดเชียงใหม่ โดยนำลูกปลาหมอไทยมาพักให้ปรับตัวในกระชัง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (ให้อาหารด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาดุก) ทำการสุ่มนับและชั่งน้ำหนักลูกปลาเริ่มต้นก่อนปล่อยลงเลี้ยงในกระชังอวน ขนาด 1×1×1 เมตร โดยปล่อยปลาหมอไทยในอัตราความหนาแน่น 50 ตัว/ตารางเมตร

การเตรียมและให้อาหารทดลอง

1. นำกล้วยสุกแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียด และมาคลุกเคล้ากับวัตถุดิบตามสัดส่วนสูตรอาหาร ดังตารางที่ 6

2. คลุกเคล้าวัตถุดิบทั้งหมดจนเข้ากัน

3. นำส่วนผสมที่ได้ มาอัดในเครื่องอัดอาหารเม็ดจม

4. นำอาหารที่ได้ไปผึ่งในที่ร่มและเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

ตารางที่ 6 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

น้ำหนัก (กรัม)	วัตถุดิบอาหาร			
	สูตรที่ 1*	**สูตรที่ 2**	**สูตรที่ 3**	**สูตรที่ 4**
ปลาป่น	-	355	355	355
ปลายข้าว	-	100	100	100
รำละเอียด	-	250	250	250
กากถั่วเหลือง	-	140	140	140
กล้วย	-	110	110	110
น้ำมันพืช	-	30	30	30
พรีมิกซ์	-	0.0175	0.0175	0.0175
ไลซีน	-	0.015	0.015	0.015
เมทไทโอนิน	-	0.0125	0.0125	0.0125

หมายเหตุ : *สูตรอาหารที่ 1 อาหารเม็ดปลาดุกสำเร็จรูปขนาดเล็ก โปรตีนไม่น้อยกว่า 25 %
สูตรอาหารที่ 2 อาหารผสมกล้วยหอม
สูตรอาหารที่ 3 อาหารผสมกล้วยไข่
สูตรอาหารที่ 4 อาหารผสมกล้วยน้ำว้า

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต

ทำการทดลองเลี้ยงปลาหมอไทยตามแผนการทดลอง ชั่งน้ำหนักและนับจำนวนตัวของปลาหมอไทยแต่ละกระชัง ซึ่งชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหน่วยเป็นกรัมทุก ๆ 15 วัน เลี้ยงเป็นระยะเวลา 120 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตและต้นทุนผลตอบแทนของปลาหมอไทยดังนี้

1. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain. %)

$$= \frac{\left(\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มทำการทดลอง}\right) \times 100}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้น}}$$

2. การเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR, %/วัน)

$$= \frac{(\mathbf{In}\ \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \mathbf{In}\ \text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มทำการทดลอง}) \times 100}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้น}}$$

3. น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (TFL, กรัม/ตัว)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ปลากิน}}{\text{จำนวนปลา}}$$

4. อัตราการกินอาหาร (DFI % / วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินเฉลี่ยต่อวัน} \times 100}{(\text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} + \text{น้ำหนักปลาสิ้นสุดการทดลอง})/2}$$

5. อัตราแลกเนื้อ (FCR)

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

6. ผลผลิต (กิโลกรัม/กระชัง)

ผลผลิต = น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละกระชัง (Total Biomass)

7. ต้นทุนผลผลิตต่อปลา 1 กิโลกรัม (บาท)

ต้นทุนผลผลิต = ต้นทุนค่าอาหาร + ค่าพันธุ์ปลา

8. อัตราส่วนผลตอบแทนส่วนต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio)

$$\text{B/C ratio} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย}}$$

$$\text{หรือ B/C ratio} = \frac{\text{ราคาปลาต่อกิโลกรัม}}{\text{ต้นทุนการผลิตปลาต่อกิโลกรัม}}$$

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit cost ratio หรือ B/C ratio) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่าย ในโครงการ ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และระหว่างการทดลองทุก ๆ 15 วัน จนเสร็จสิ้นการทดลองเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปัจจัยและวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ

ปัจจัยที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือ
อุณหภูมิ	DO meter (YSI model 59)
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	DO meter (YSI model 59)
ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	pH meter (HI 9812)
แอมโมเนีย - ไนโตรเจน	วิธีฟีนอล (Phenol method)
ไนไตรท - ไนโตรเจน	วิธี Coupling method

5. การตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของปลาหมอไทย

ทำการสุ่มตัวอย่างปลาหมอไทย 10 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละชุดการทดลองมาทดสอบการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์รายละเอียดดังนี้

การจับกินสิ่งแปลกปลอมของเซลล์เม็ดเลือดขาว (phagocytic activity) ดัดแปลงมาจากวิธีการ (กัญช์ และคณะ, 2553; ชฎาธาร และคณะ, 2550; เยาวนิตย์ และคณะ, 2543)

กิจกรรมการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว (phagocytic activity) ใช้วิธีการดัดแปลงของ Diana et al. (2014) และ Yoshida and Kitao (1991) นำเม็ดเลือดขาวที่ได้มาปรับความเข้มข้น $4x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรผสมกับ beads ความเข้มข้น $2x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในอัตรา 2:3 ในหลอดทอดลองขนาด 15 มิลลิลิตรจากนั้นนำไปเขย่าที่ 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดกระบวนการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว ดูดส่วนผสมดังกล่าว 200 µl หยดลงบนแผ่นปิดสไลด์บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง เทของเหลวที่อยู่ด้านบนสไลด์ออกแล้วล้างด้วย RPMI-1640 medium 2 ครั้งแล้วนำไปย้อมด้วยวิธี diff-quick เป็นเวลา 10 วินาที แล้วล้างสไลด์ด้วย PBS (pH 7.4) ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำไปนับจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว และจำนวนเซลล์ฟาโกไซต์ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์ (percent phagocyte)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์} = \frac{\text{จำนวนเม็ดเลือดขาวที่จับกินยีสต์}}{\text{จำนวนเม็ดเม็ดเลือดขาวทั้งหมด (200 เซลล์)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ต้นทุนผลตอบแทน และคุณค่าทางโภชนการ ที่รวบรวมได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธี Tukey's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS for window version 16

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์โภชนาการของกล้วยและสูตรอาหารที่ผสมกล้วยต่างชนิดที่ใช้ในเลี้ยงปลาหมอไทย

จากการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการในกล้วยทั้ง 3 ชนิด คือ กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า พบเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า และไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) แต่ในขณะที่เปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ดังตารางที่ 8 เมื่อนำมาผสมกับอาหาร และวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของอาหารที่ใช้การเลี้ยง คือ สูตรที่ 1 อาหารปลาดุกสำเร็จรูปลอยน้ำขนาดเล็ก สูตรที่ 2 อาหารผสมกล้วยหอม สูตรที่ 3 อาหารผสมกล้วยไข่ สูตรที่ 4 อาหารผสมกล้วยน้ำว้า โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์เถ้า เปอร์เซ็นต์ไขมัน เปอร์เซ็นต์เยื่อใย และเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกทุกกลุ่มทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า และโปรตีนพบว่าอาหารที่ได้รับการผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าดังกล่าวสูงที่สุด โดยมีค่าดังนี้คือ 12.53 ± 0.01, 8.65 ± 0.67 และ 34.44 ± 0.27 ตามลำดับ (P<0.05) ส่วนของเปอร์เซ็นต์ไขมัน และเยื่อใยพบว่ากลุ่มที่มีค่าดังกล่าวสูงที่สุดคือ อาหารที่ได้รับการผสมกล้วยไข่มีค่าเท่ากับ 9.73 ± 0.16 และ 4.56 ± 0.17 ตามลำดับ (P<0.05) ซึ่งอาหารชุดควบคุมเป็นกลุ่มที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า โปรตีน เยื่อใย และไขมันมีค่าต่ำที่สุด ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกมีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มทดลองคือ 47.58± 0.82 ดังตารางที่ 9 โดยไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกที่กล่าวมานี้จะประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินปนอยู่บ้าง (ปรีดา, 2555) สัตว์น้ำมีขบวนการสังเคราะห์โปรตีนซึ่งเป็นขบวนการที่ใช้พลังงานจำนวนมากในขบวนการเมทาบอริซึมขั้นพื้นฐานของปลา ถ้าในอาหารไม่มีแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน สัตว์น้ำจะนำกรดอะมิโนไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรงเพื่อให้ได้พลังงานตามความต้องการของร่างกาย มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง ดังนั้นอาหารจึงควรมีแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต และไขมันให้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำ (De Silva and Anderson, 1995) ซึ่งความสามารถในการใช้คาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในสัตว์น้ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ ชนิดของคาร์โบไฮเดรตและกรรมวิธีการทำอาหาร (ความสุกของคาร์โบไฮเดรต) การใช้คาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นแหล่งพลังงานในอาหารจะทำให้ช่วยลดการใช้โปรตีนเพื่อเป็นส่วนประกอบของอาหารลงได้ ซึ่งความสามารถนี้เรียกว่า Protein-sparing effect ทำให้เป็นที่สนใจอย่างมากในการใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์น้ำ เพราะโปรตีนเป็นส่วนประกอบของอาหารที่มีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งของไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ดังนั้น Protein-sparing effect จึงช่วยลดต้นทุนค่าอาหารสัตว์น้ำได้

(วีรพงษ์, 2536) ปลามีประสิทธิภาพการใช้คาร์โบไฮเดรตค่อนข้างต่ำ แต่คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่ถูกที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ ดังนั้นในอาหารสัตว์น้ำจึงควรมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ โดยอาหารปลา Rainbow trout ควรใช้คาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 12% ส่วนอาหารปลา Channel catfish อาจใช้ได้มากถึง 33% (De Silva and Anderson, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอาหารกลุ่มควบคุมมีไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกสูงที่สุดคือ 47.58 ± 0.82% เมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตพบว่ากลุ่มดังกล่าวมีผลผลิตสูงที่สุด ส่วนในปลาหมอไทยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกรองลงมา คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกล้วยไข่มีค่าไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกเท่ากับ 40.90 ± 7.78% พบว่ามีผลผลิตรองลงมาจากกลุ่มควบคุมเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกันทุกกลุ่มทดลองจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกสูงจะมีปริมาณผลผลิตที่สูงด้วยเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่าปลาหมอมีความต้องการไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกสูงในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อเป็นการช่วยสงวนการใช้โปรตีนของร่างกาย ทำให้ไม่ต้องนำโปรตีนไปใช้เป็นพลังงานอีก โดยร่างกายจะใช้โปรตีนในหน้าที่สำคัญอื่น ๆ ที่สารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมันทำไม่ได้เช่น การใช้โปรตีนเป็นเอนไซม์ ฮอร์โมน ภูมิคุ้มกันโรค และตัวพาสารต่าง ๆ ในเลือดส่งผลให้ปลาหมอมีการเจริญเติบโต อัตรารอด และผลผลิตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์โภชนาการของกล้วยที่ใช้ในการผสมอาหารเลี้ยงปลาหมอไทย

การวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (%)	**กล้วยหอมสุก**	**กล้วยไข่สุก**	**กล้วยน้ำว้าสุก**
ความชื้น	69.92 ± 0.18^{a}	70.35 ± 0.04^{b}	73.79 ± 0.03^{c}
เถ้า	0.94 ± 0.27^{b}	0.46 ± 0.17^{b}	0.26 ± 0.17^{a}
โปรตีน	1.34 ± 0.44	2.52 ± 0.25	3.82 ± 2.63
ไขมัน	0.22 ± 0.08	0.21 ± 0.15	0.37 ± 0.01
เยื่อใย	0.63 ± 0.22	0.95 ± 0.13	0.81 ± 0.11
ไนโตรเจนฟรีเอกแทรก	26.96 ± 0.65^{a}	25.52 ± 0.41^{b}	20.96 ± 2.66^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 16.0 แบบ Tukey's test

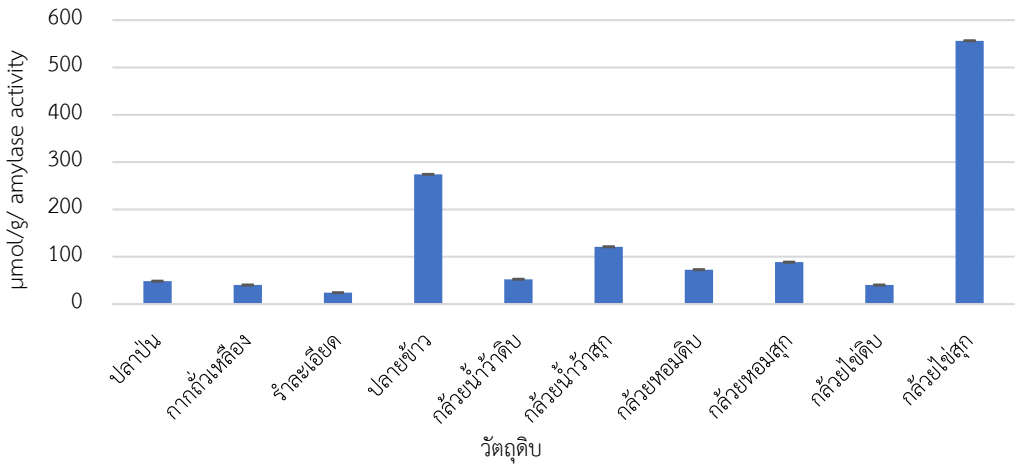
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์โภชนาการของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลาหมอไทย

การวิเคราะห์โภชนาการของอาหาร (%)	อาหารปลาดุก	อาหารผสมกล้วยหอม	อาหารผสมกล้วยไข่	อาหารผสมกล้วยน้ำว้า
ความชื้น	9.29 ± 0.09^{a}	9.58 ± 1.23^{a}	9.87 ± 0.30^{a}	12.53 ± 0.01^{b}
เถ้า	7.18 ± 0.36^{b}	8.34 ± 0.31^{a}	8.41 ± 0.09^{a}	8.65 ± 0.67^{a}
โปรตีน	26.35±0.23^{b}	34.30 ± 2.94^{a}	26.04 ± 7.91^{ab}	34.44 ± 0.27^{b}
ไขมัน	6.12 ± 0.28^{c}	9.11 ± 0.11^{ab}	9.73 ± 0.16^{a}	8.74 ± 0.71^{b}
เยื่อใย	3.47 ± 0.26^{c}	3.95 ± 0.03^{b}	4.56 ± 0.17^{a}	4.06 ± 0.04^{b}
ไนโตรเจนฟรีเอกแทรก	47.58± 0.82^{a}	34.59 ± 3.08^{b}	40.90 ± 7.78^{b}	31.38 ± 0.32^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 16.0 แบบ Tukey's test

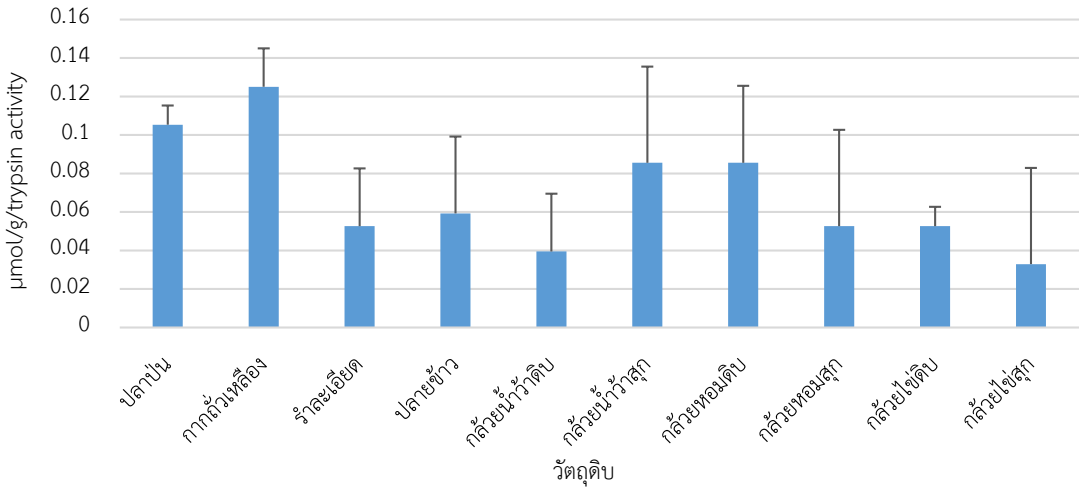
ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทยด้วยวิธี *in vitro* digestibility ในวัตถุดิบทั้งหมด 10 ชนิด พบว่า มีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลาหมอ ดังนี้ กล้วยไข่สุกประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ค่าเท่ากับ 556.4242±1.24 µmol/g/ amylase activity และกล้วยไข่ดิบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด ค่าเท่ากับ 40.3206±1.35 µmol/g/ amylase activity รำละเอียด ค่าเท่ากับ 24.1924 µmol/g/ amylase activity ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบอาหารโดยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลาหมอไทย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย ด้วยวิธี *in vitro* digestibility ในวัตถุดิบทั้งหมด 10 ชนิด พบว่า มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์ย่อยอาหารจากปลาหมอ ดังนี้ กากถั่วเหลืองมีมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงที่สุด ค่าเท่ากับ 0.125064±0.02 µmol/g//trypsin activity และกล้วยไข่สุกมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนน้อยที่สุด ค่าเท่ากับ 0.032912±0.05 µmol/g/trypsin activity ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารของปลาหมอไทย

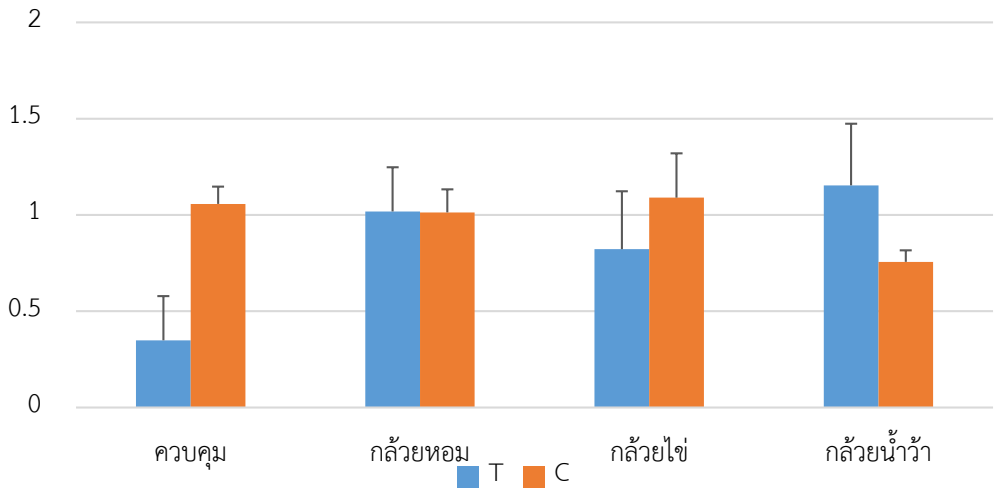
การย่อยอาหารเป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำให้เกิดสารอาหารเพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างภูมิคุ้มกันของสิ่งมีชีวิต (Moyano et al., 2015) การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทยด้วยเทคนิค *in vitro* digestibility มีข้อดี เนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยจากสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อย สะดวก ใช้เวลาน้อย สามารถนำมาประยุกต์ในการศึกษาวัตถุดิบอาหารและการย่อย (Rungruangsak-Torrissen et al., 2002) โดยตรวจสอบค่าการย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ด้วยวิธีการตรวจสอบคาร์โบไฮเดรตโดยการวัดค่าน้ำตาล maltose และ การตรวจสอบโปรตีนโดยการวัดค่ากรดอะมิโน DL-Alanine จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลายข้าว กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยหอมสุก กล้วยไข่ดิบ และกล้วยไข่สุก ด้วยเอนไซม์จากลำไส้ในปลาหมอไทย พบว่าเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารจากปลาหมอไทย มีประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในกล้วยไข่สุกได้ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในกากถั่วเหลืองได้ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าปลาหมอไทยสามารถ

ที่จะย่อยวัตถุดิบ (จันทกานต์, 2550) ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของเอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนส พบว่า เอนไซม์อะไมเลสและโปรติเนสสามารถย่อยเนื้อหอย *Corbicula* sp. ได้ดี ซึ่งน่าจะสัมพันธ์กับการที่หอยเป็นอาหารหลักของปลาสวายหนู การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปลา คือ สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารประเภทโปรตีนเพื่อการสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ ในขณะที่ไขมันถือเป็นแหล่งพลังงานสำรอง เอนไซม์โปรติเนสที่สำคัญ คือ เอนไซม์ทริปซิน เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion efficiency; FCE) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate; SGR) มีการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในสูตรอาหาร 6 ชนิดโดยวิธี 6-Trinitrobenzene sulfonate (TNBS) ที่มีแหล่งโปรตีนประกอบด้วยปลาป่น กากถั่วเหลือง ปลาหมึกป่น พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในอาหารทั้ง 6 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Divakaran et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทิพสุคนธ์ และจอมสุดา (2557) ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของกระเทียม กล้วยน้ำว้า และหอมใหญ่ในการมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตรารอด รวมถึงต้นทุนและความคุ้มทุนในการผลิตปลาหมอไทย พบว่า พรีไบโอติกทั้งสามชนิดไม่มีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโต (P>0.05) แต่การใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโปรตีนของปลาหมอเพิ่มขึ้น (P>0.05) การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเสริมกล้วยน้ำว้าในอาหารปลาหมอไทย สามารถลดต้นทุนการผลิต และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงได้ ในทางตรงกันข้าม งานวิจัยของ ธนาวัฒน์ และ คณะ (2557) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยด้วยวิธี *in vitro* protein digestibility ในวัตถุดิบอาหารได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด และรำ โดยในการศึกษานี้ ทดลองในปลาโมง 2 ขนาด คือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ จากผลการศึกษา พบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในปลาป่น จากเอนไซม์ที่สกัดได้จากกระเพาะอาหารและลำไส้ในปลาขนาดเล็ก มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น แต่ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในวัตถุดิบอาหารทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในปลาโมงขนาดใหญ่ และปลาโมงขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบจากสัตว์ได้ดีกว่าวัตถุดิบจากพืช ส่วนปลาโมงขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบอาหารทุกชนิดได้ดี อย่างไรก็ตามปริมาณกล้วยที่เหมาะสมสำหรับปลาหมอไทยอาจจะแตกต่างไปตามอายุและแหล่งที่มาของกล้วย

กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) และไคโมทริปซิน (chymotrypsin)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน หลังจากให้อาหารทดลองเป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่าอาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงที่สุด รองลงมาคืออาหารที่ผสมกล้วยหอม อาหารที่ผสมกล้วยไข่

และกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำที่สุด ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ไคโมทริปซินพบว่าอาหารที่ผสมกล้วยไข่มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มควบคุม อาหารที่ผสมกล้วยหอมและอาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าต่ำที่สุด การุณ และอุทัยวรรณ (2555) กล่าวว่าการศึกษากิจกรรมของไคโมทริปซินมักทำงานควบคู่กับทริปซิน ตั้งแต่ก่อนระยะฟักตัวถึงวัยเจริญพันธุ์ การศึกษาในสัตว์น้ำพบว่าการแสดงออกไคโมทริปซินมีผลต่อการเติบโตในทิศทางตรงกันข้ามกับทริปซิน โดยกิจกรรมของไคโมทริปซินจะมีค่าสูงในช่วงที่สิ่งมีชีวิตเติบโตช้าหรือถูกจำกัดโดยปัจจัยต่าง ๆ

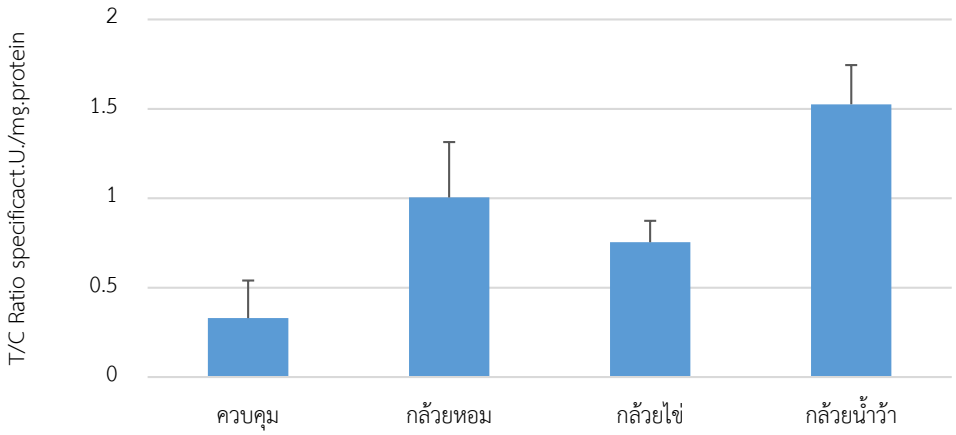


ภาพที่ 8 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ trypsin และเอนไซม์ chymotrypsin

กิจกรรมของอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซิน (T/C ratio)

ค่า T/C ratio เป็นค่าที่บ่งบอกอัตราการเจริญเติบโต จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.525254±0.22 T/C Ratio specific act.U./mg.protein และกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.33012031±0.21 T/C Ratio specific act.U./mg.protein แสดงให้เห็นว่าอาหารที่ผสมกล้วยน้ำว้าส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย การุณ และ อุทัยวรรณ (2555) การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารสามารถบอกถึงการเติบโตและพัฒนาการของสัตว์น้ำ ได้การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของทริปซินและไคโมทริปซินทำ ให้อัตราส่วนระหว่างทริปซินต่อไคโมทริปซิน (Activity ratio of trypsin to chymotrypsin: T/C ratio) มีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนปริมาณกรดอะมิโนอิสระในพลาสมาและในกล้ามเนื้อสมดุลของการสร้างและการสลายโปรตีน และอัตราการเติบโต ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการหลั่งของทริปซินและไคโมทริปซินมีความสัมพันธ์กับความอยากอาหารของปลา

อัตราการดูดซึม การสังเคราะห์กรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีน และระดับการหลั่งของพลาสมาอินซูลิน ดังนั้น อัตราส่วนดังกล่าวจึงสัมพันธ์การเติบโต และไม่ขึ้นกับการแสดงออกของทริปซินหรือไคโมทริปซินนอกจากนี้ อัตราส่วนของอะไมเลสต่อทริปซิน (Activity ratio of amylaseto trypsin: A/T ratio) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน พบว่าสามารถใช้ประเมินพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์น้ำได้เช่นกัน การศึกษาของ Sunde et al. (2001) พบว่า T/C ratio ในปลาแอตแลนติกแซลมอน *Salmo salar* L. มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต นอกจากนี้ Hofer and Schiemer (1981) พบว่า การใช้ประโยชน์ของโปรตีนสามารถใช้ประเมินพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์น้ำได้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rungruangsak-Torrissen et al. (2006) ได้ศึกษาในปลาแอตแลนติกแซลมอน *Salmo salar* พบว่า T/C ratio มีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของปลา โดยเมื่อปลาอยู่ในระยะที่มีการเจริญเติบโต T/C ratio จะมีค่าสูง และจะมีค่าต่ำลงเมื่ออัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง เนื่องจากทริปซินแสดงกิจกรรมจำเพาะได้สูงและมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารในช่วงที่ปลามีการเจริญเติบโตสูง ตรงข้ามกับเอนไซม์ไคโมทริปซินซึ่งแสดงกิจกรรมจำเพาะได้สูงขึ้น เมื่ออัตราการเจริญลดลง ดังนั้น T/C ratio จึงสามารถใช้เป็นดัชนีวัดคุณภาพการเจริญเติบโตของสัตว์แต่ละระยะได้



ภาพที่ 9 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ T/C ratio ของอาหารผสมกล้วยต่างชนิด

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิด

จากการศึกษาการเจริญเติบโต และต้นทุนการผลิตพบว่าชุดการทดลองมีการเจริญเติบโตโดยวิเคราะห์จากค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

(P>0.05) เมื่อเทียบอัตรารอดแล้วพบว่าชุดการทดลองที่ได้รับอาหารไม่ผสมกล้วยมีค่าดังกล่าวสูงที่สุดและมีผลผลิตสูงกว่าชุดการทดลองอื่น (P<0.05) ชุดการทดลองที่มีอัตรารอด และผลผลิตรองลงมาคือชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมกล้วยน้ำว้า (P<0.05) และชุดการทดลองที่มีอัตรารอดต่ำที่สุดคือชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมกล้วยหอม (P<0.05) แต่เมื่อเทียบผลผลิตที่ได้แล้วพบว่าชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมกล้วยไข่มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด (P<0.05) สำหรับต้นทุนผลผลิต และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) แต่เมื่อสังเกตค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนพบว่าชุดการทดลองที่มีค่ามากกว่า 1 และมีค่าสูงที่สุดได้แก่ ปลาหมอไทยชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมกล้วยน้ำว้าโดยมีค่าเท่ากับ 1.33 ซึ่งถือได้ว่าเป็นอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนที่มีแนวโน้มสูงที่สุดในชุดการทดลองนี้ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโต ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมกล้วยต่างชนิด เป็นระยะเวลา 120 วัน

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลอง			
	กลุ่มควบคุม	กล้วยหอม	กล้วยไข่	กล้วยน้ำว้า
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	7.11 ± 0.10	7.08 ± 0.03	7.11 ± 0.09	7.12 ± 0.03
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม/ตัว)	13.57 ± 0.21	13.54 ± 0.81	13.23 ± 1.52	12.81 ± 0.99
น้ำหนักเพิ่ม (กรัม/ตัว)	6.46 ± 7.69	6.46 ± 7.63	6.13 ± 7.32	5.69 ± 6.49
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (กรัม/ตัว)	0.11 ± 4.01	0.11 ± 3.65	0.11 ± 3.06	0.10 ± 2.80
การเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	5.38 ± 3.79	5.39 ± 3.76	5.10 ± 3.63	3.91 ± 3.21
อัตรารอด (%)	83.33±0.79^{a}	68.00 ± 0.96^{b}	68.67 ± 0.71^{b}	78.67 ± 1.21^{ab}
ผลผลิต (กรัม/กระชัง)	565.38±1.40^{a}	461.98±67.51^{ab}	405.82 ±48.65^{b}	518.38 ±52.78^{ab}
ต้นทุนผลผลิต (บาท/กก.)	35	34.10	31.35	30.58
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน	1.13 ± 0.00	1.09 ± 0.16	1.06 ± 0.13	1.33 ± 0.14
กำไร (บาท/กก.)	55	55.9	58.65	59.42

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 16.0 แบบ Tukey's test
ราคาปลาหมอไทย กิโลกรัมละ 90 บาท

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้อาหารได้แก่ ความสามารถในการกินอาหารซึ่งวัดจากอาหารที่กิน อัตราการกินอาหาร และความสามารถในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อซึ่งวิเคราะห์จากค่าอัตราการแลกเนื้อ โดยทดลองในปลาหมอไทยให้ได้รับอาหารผสมกล้วยต่างชนิด เป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่า

น้ำหนักอาหารที่ปลากิน และอัตราการกินอาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติในชุดการทดลอง (P>0.05) ด้านอัตราการแลกเนื้อ พบว่าปลาหมอที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยไข่มีอัตราการแลกเนื้อที่สูงที่สุด รองลงมาคืออาหารผสมกล้วยน้ำว้า อาหารผสมกล้วยหอม และชุดการทดลองที่ไม่ได้ผสมกล้วยมีอัตราการแลกเนื้อต่ำที่สุด ดังตารางที่ 11 จากการศึกษาของ อุมารินทร์ และคณะ (2553) พบว่าการใช้กล้วยไข่ผสมกับอาหารสำเร็จรูปในการเลี้ยงปลานิลและปลาตะเพียน พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักและการเพิ่มขึ้นของอัตราความยาว พบว่ามีความแตกต่างในด้านสถิติในสูตรอาหารที่ 3 คือ การทดแทนปลายข้าวด้วยกล้วยไข่ร้อยละ 100 [0:1] โดยจะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.56 ±0.58^{a}, 9.22±0.97^{b} กรัม และความยาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.52±0.24^{a}, 8.60±0.47^{b} เซนติเมตร ซึ่งผลทดลองนี้ชี้ให้เห็นได้ว่าปลาตะเพียนขาวสามารถย่อยอาหารที่เป็นกล้วยไข่แทนปลายข้าวร้อยละ 100 ทั้งนี้ปลาตะเพียนขาวเป็นปลากินพืช จึงสามารถปรับตัวกินอาหารและยอมรับโปรตีนจากกล้วยไข่ได้ดี

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมกล้วยต่างชนิดกันเป็นระยะเวลา 120 วัน

การเจริญเติบโต	**ชุดการทดลอง**			
	กลุ่มควบคุม	กล้วยหอม	กล้วยไข่	กล้วยน้ำว้า
น้ำหนักอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)	85.50 ± 1.90	99.15 ± 1.98	89.52 ± 8.21	92.35 ± 6.66
อัตราการกินอาหาร (%/วัน)	71.77 ± 1.99	68.07 ± 4.74	72.02 ± 6.37	69.64 ± 0.84
อัตราแลกเนื้อ	1.67±0.52^{a}	1.71±0.47^{a}	2.18±0.96^{b}	1.76±0.35^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 16.0 แบบ Tukey's test

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาหมอไทยกระชังในบ่อดิน

การศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาหมอไทยที่ผสมกล้วยต่างชนิด เป็นเวลา 120 วัน พบว่า อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 7.00-8.30 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 1.99-6.00 มิลลิกรัม/ลิตร ความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 99.49-118.11 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.03-0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ไนไตรท์อยู่ระหว่าง 1.39-2.21 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรทอยู่ระหว่าง 2.58-4.32 และฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 0.81-1.40 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 12 เมื่อนำค่าของคุณภาพน้ำที่ได้จากการทดลองนี้เปรียบเทียบกับ

ค่าที่ได้จากการรายงานของ Boyd (1982) คุณภาพน้ำโดยเฉลี่ย อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำโดยทั่วไป ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแต่ละจุด

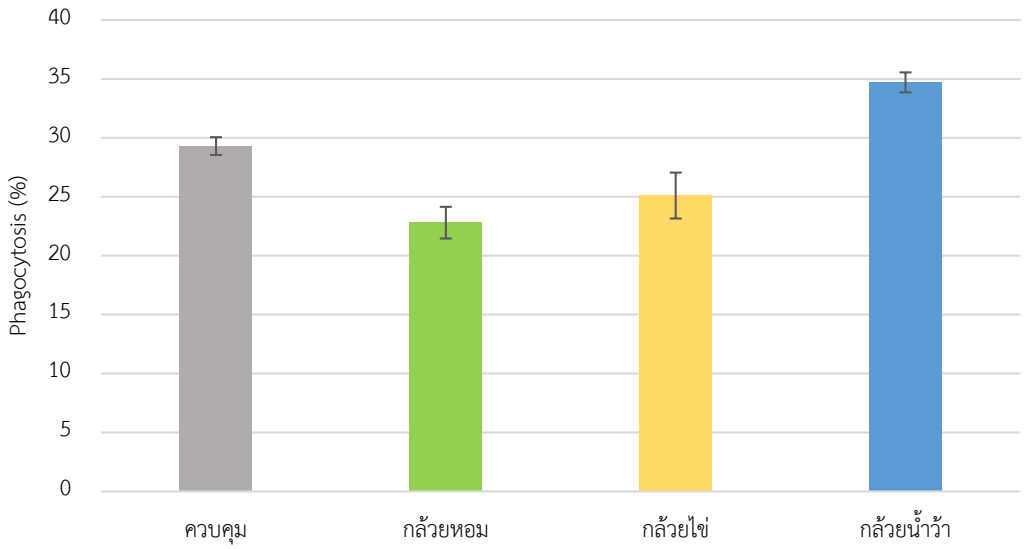
พารามิเตอร์	ทางน้ำเข้า	กลางบ่อ	ทางน้ำออก
อุณหภูมิ (°C)	30-35	30-31	30-33
pH	7.00-8.20	7.5-8.20	7.00-8.30
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	2.87 -6.00	1.99-6.67	2.00-5.33
แอมโมเนีย – ไนโตรเจน (mg/l)	0.03– 0.17	0.05 – 0.11	0.04– 0.12
ไนไตรท์ – ไนโตรเจน (mg/l)	1.40 – 2.21	1.39 – 2.19	1.42 – 2.09
ไนเตรท – ไนโตรเจน (mg/l)	2.67 – 4.32	2.67 – 3.91	2.58 – 4.21
ฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส (mg/l)	0.81 – 1.39	0.83– 1.34	0.90 – 1.40

ผลของสูตรอาหารที่ผสมจากกล้วยต่างชนิดต่อค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว

จากการศึกษาพบว่า ค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาวในปลาหมอที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมจากกล้วยน้ำว้ามีค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ นันท์นภัส และคณะ (2562) ศึกษาผลของการใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคจากการติดเชื้อ *Streptococcus agalactiae* ในปลานิล (น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 162.82 ± 1.14 กรัม) ให้อาหารผสมกล้วยน้ำว้าที่ระดับ 0, 1.0, 5.0 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าการใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารไม่มีผลต่อค่าทางโลหิตวิทยาของปลานิล (P>0.05) โดยปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาว ค่า haematocrite index และค่า lysozyme activity ของปลาทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ปลากลุ่มที่ได้รับกล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารทุกกลุ่มทดลองมีค่า nitroblue tetrazolium activity และ superoxide dismutase สูงกว่าปลานิลกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อย่างไรก็ตามผลของค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาวสูงขึ้นในหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมกล้วยน้ำว้า โดยค่าพารามิเตอร์เลือดของปลา ถือเป็นตัวบ่งชี้สำคัญสำหรับการตรวจหาความผิดปกติ ที่เกี่ยวข้องกับการให้อาหาร ความเครียดจากสิ่งแวดล้อม จากโรคและการตอบสนองทางด้านภูมิคุ้มกัน (Dawood et al., 2016) Phagocytic cells มีบทบาทสำคัญในระบบภูมิคุ้มกัน จัดเป็นกลไกการป้องกันสิ่งแปลกปลอมแบบไม่จำเพาะเจาะจง ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการป้องกัน

และกำจัดสิ่งแปลกปลอม (Secombes, 1990; Telli et al., 2014) การปรับเปลี่ยนของ phagocytic activity ถือเป็นกุญแจสำคัญ ต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะของปลา (Irianto and Austin, 2002) ชนกันต์ (2545) กล่าวว่า การใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันชนิดต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย กลูแคน วิตามินและสารสังเคราะห์ต่าง ๆ จะช่วยเพิ่มการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่กลืนกินสิ่งแปลกปลอม กระตุ้นการตอบสนองของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันทำให้มีการเพิ่มการผลิตไลโซไซม์



ภาพที่ 10 เปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์ของปลาหมอไทยหลังได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิดนาน 60 วัน

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

การใช้กล้วยต่างชนิด เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลาหมอไทย เมื่อนำมาวิเคราะคุณค่าทางโภชนการ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) อาหารที่ได้รับการผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น เถ้า และโปรตีนสูงที่สุด

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย พบว่าความสามารถการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อะไมเลสในชนิดกล้วยได้ดีตามลำดับ ดังนี้ กล้วยไข่ดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยไข่สุก และความสามารถการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ทริปซินในชนิดกล้วยได้ดีตามลำดับ ดังนี้ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยหอมดิบ กล้วยหอมสุก กล้วยไข่ดิบ กล้วยน้ำว้าดิบ และกล้วยไข่สุก ดังนั้น ความสามารถการย่อยคาร์โบไฮเดรตด้วยเอนไซม์อะไมเลสในกล้วยไข่สุกได้ดีที่สุด และสามารถการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ทริปซินในกล้วยน้ำว้าสุกได้ดีที่สุด

กิจกรรมของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) และไคโมทริปซิน (chymotrypsin) และกิจกรรมของอัตราส่วนระหว่างเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซิน (T/C ratio) พบว่ากล้วยน้ำว้ามีค่าสูงที่สุด รองลงมาคืออาหารที่ผสมกล้วยหอม อาหารที่ผสมกล้วยไข่และกลุ่มควบคุมมีค่าต่ำที่สุด

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิด พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ชุดควบคุมมีอัตราการรอดที่สูงที่สุด

ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของปลาหมอไทยที่ได้รับอาหารผสมจากกล้วยต่างชนิด พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) แต่เมื่อสังเกตค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนพบว่าชุดการทดลองที่ได้รับอาหารผสมกล้วยน้ำว้ามีค่าสูงที่สุด

ผลของสูตรอาหารที่ผสมจากกล้วยต่างชนิดต่อค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว พบว่าอาหารผสมจากกล้วยน้ำว้ามีค่าการจับกินสิ่งแปลกปลอมสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากการศึกษาการใช้กล้วยต่างชนิด เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลาหมอไทย พบว่า กล้วยน้ำว้าเป็นทางเลือกหนึ่ง ที่นำมาทดแทนหรือมาเป็นส่วนผสมในการทำอาหารปลาหมอไทย ซึ่งกล้วย

น้ำว้ามีราคาค่อนข้างถูก และหาง่ายกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างและนำไปปรับปรุงสูตรอาหารที่เหมาะสมกับปลาหมอไทย ทั้งด้านโภชนาการและราคา

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาอาหารสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เพื่อพัฒนาการผลิตสูตรอาหารสัตว์น้ำต่อไป

2. ในการทดลองการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว ควรทำการทดลองตั้งแต่เริ่มเลี้ยงไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ดีและแม่นยำ

3. ในการพัฒนาสูตรอาหาร โดยใช้วัตถุดิบทดแทน สามารถใช้วิธี *in vitro* digestibility เพื่อการคัดเลือกและการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบเพื่อสร้างสูตรอาหารการจัดการอาหารเพื่อให้เกิดความคุ้มทุน และคุณภาพการเจริญเติบโต

บรรณานุกรม

กรมประมง. 2550. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2548**. เอกสารฉบับที่ 6/2550. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง.

กรมประมง. 2562. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2557**. เอกสารฉบับที่ 9/2562. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง.

กลุ่มวิจัยอาหารสัตว์น้ำ. 2534. **อาหารสัตว์น้ำ**. กรมประมง: สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด.

กองโภชนาการ. 2544. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. กรุงเทพฯ: กรมอนามัย.

กัญช์ เกล็ดมณี, ปภาศิริ กาญจโนภาศ-บาร์เนท, คเชนทร เฉลิมวัฒน์, วิชชุดา ประสาทแก้ว, สุกานดา ทับเมฆา และ หยาดเพชร โอเจริญ. 2553. การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของปลากะพงขาว (Lates calcarifer Bloch) ต่อการเสริมอาหารด้วยไคโตซาน. (หน้า 55-63). ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาประมง**.

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

กำธร โพธิ์ทองคำ. 2514. **ชีววิทยาของปลาหมอไทย**. เอกสารวิชาการฉบับที่10 แผนกทดลองและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง.

กี ใจวงศ์. 2552. **การเลี้ยงปลาหมอไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://news.enterfarm.com/ (15 มีนาคม 2560).

จันทกานต์ นุชสุข. 2550. **การพัฒนาสูตรอาหารโดยใช้เทคโนโลยีทางเอนไซม์ย่อยอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงปลาสวายหนู Helicophagus leptorhynchus Ng & Kottelat.** 2000. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชฎาธาร โทนเดี่ยว, อรพินท์ จินตสถาพร, ประทักษ์ ตาบทิพย์วรรณ และ ศรีน้อย ชุ่มคำ. 2550. ผลของใบยอและฟ้าทะลายโจรต่อการเปลี่ยนแปลงสีและอัตราการจับกินเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาวในปลาทอง (*Carasiusauratus*). (หน้า 535-546). ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนกันต์ จิตมนัส. 2545. สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันสัตว์น้ำ. **วารสารสงขลานครินทร์**, 24(4), 739-745.

ไชย ส่องอาชีพ. 2547. ปลาหมอไทยเลี้ยงง่ายขายคล่อง. **เทคโนโลยีชาวบ้าน**, 12(332), 102-103.

ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล และ จอมสุดา ดวงวงษา. 2557. **การประยุกต์ใช้พืชท้องถิ่นพัฒนาสูตรอาหารเพื่อ ลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาหมอเชิงพาณิชย์**. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธนากร เหมะสถล และ ดวงใจ พิสุทธิ์ธาราชัย. 2559. การใช้กล้วยหอมทองสุกในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล. **แก่นเกษตร,** 44(4), 687-692.

ธนาวัฒน์ ศิริปริญญานันต์, บัณฑิต ยวงสร้อย, สุธี วงศ์มณีประทีป และ สุทธิศักดิ์ บุญยัง. 2557. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารในปลาโมง ด้วยวิธี *in vitro* protein digestibility. **แก่นเกษตร**, 42(ฉบับพิเศษ 1), 32-37.

ธาตรี จีราพันธุ์. 2549. **อาหารและการให้อาหารสัตว์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://elearning.nsru.ac.th/web_elearning/animal/lesson2_5.php (17 เมษายน 2560).

นันท์นภัส ปาลินทร, อรุณีพงศ์ ศรีสถาพร, สมสมร แก้วบริสุทธิ์ และ นิลุบล รุจินานนท. 2562. ผลของการใช้กล้วยน้ำว้าเสริมในอาหารต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและความต้านทานโรคจากการติดเชื้อ Streptococcus agalactiae ในปลานิล. **วารสารเกษตรพระวรุณ**, 16(2), 307-323.

นิวุฒิ หวังชัย. 2549. **โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย**. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา ภูมี. 2555. **อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://fishtech.rmutsv.ac.th/fishtech3/Fishtech_SAR55/4.0.3/FISHTECH%204.0.3-02(3).pdf. (16 มีนาคม 2560).

พิชญาดา เจริญจิต. 2560. **เคล็ดลับกินกล้วยน้าว้า ดิบ ห่าม สุก งอม ได้ประโยชน์ต่างกัน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology /article_33765>. (17 มิถุนายน 2561).

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ม.ป.ป. **ซอยโปรตีน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2036/soy-protein. (13 กรกฎาคม 2563).

เยาวนิตย์ ดนยดล, จีรนันท์ อุไรประสิทธิ์, สุทธินี ภูวนาท และ สถาพร ดิเรกบุษราคัม. 2543. การประยุกต์วิธีตรวจสอบการจับกินสิ่งแปลกปลอมในปลา. **วารสารการประมง**. 53(5), 461-466.

วิศวัสต์ ปาริยะประเสริฐ. 2553. **องค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://lms.thaicyberu.go.th/offcialtcu/main. (16 มิถุนายน 2561).

วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. **อาหารปลา**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ศราวุธ เจ๊ะโส๊ะ, อนัญญา ดำจุติ, สุชาติ จุลอดุง, กฤษณุพันธ์ โกเมนไปรรินทร์, เมตตา ทิพย์บรรพต และ

นพพร สิทธิเกษมกิจ. 2547. **ปลาหมอไทย: ชีววิทยาปลาและเทคนิคการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์**.

สมเจตน์ ปัญจวาณิชย์. 2549. **ปลาหมอไทย**. กรุงเทพฯ: เกษตรสยามบุ๊คส์.

สมโภชน์ อัคคะทวีวัฒน์. 2545. **การเลี้ยงปลาหมอไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://arnepalm10.blogspot.com/2012/09/blog-post_4078.html. (27 เมษายน 2560).

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. 2548. **กล้วย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://saranukromthai.or.th/sub/Ebook/Ebook.php?book=30.

สุจินต์ โรจนพิทักษ์. 2550. **การเลี้ยงปลาหมอไทย**. หนังสือวิชาการประมงเพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงปลาเศรษฐกิจ.

สุนทร ตรีนันทวัน. 2553. **คุณค่าโภชนาการจากกล้วยน้ำว้า**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.scimath. org/biologyarticle/516-cultivated-banana. (23 เมษายน 2560).

แหล่งเรียนรู้ทางด้านประมง. 2557. **ความสำคัญและชนิดของอาหารสัตว์น้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-05-13-09-04-34/795-2013-05-13-12-47-11 (15 เมษายน 2560).

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก**. นครปฐม: ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุมารินทร์ มัจฉาเกื้อ, สิทธิพัฒน์ แผ้วฉ่ำ และ คณิสร ล้อมเมตตา. 2553. **การใช้กล้วยไข่ผสมอาหารสำเร็จรูปเลี้ยงปลาตะเพียนขาว และปลานิล**. สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

Adão, R. C. & Glória, M. B. A. 2005. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of `Prata' banana (*Musa acuminata*×*M. balbisiana*). **Food Chemistry**, 90(4), 705-711.

Aherne, F. X. & Kennelly, J. J. 1983. Oilseed meals for livestock feeding. In **Recent advances in animal nutrition (W. Haresign ed.)** (pp. 39–89). London: Butterworths.

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

AOAC. 1984. **Official Methods of Analysis**. Arlington: Association of Official Analytical

Chemists 14th.

Boyd, C. E. 1982. **Water quality management for pond fish culture**. Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Co.Ltd.

Bugaud, C., Chillet, M., Beauté, M. P. & Dubois, C. 2006. Physicochemical analysis of mountain bananas from the French West Indies. **Scientia Horticulturae**, 108(2), 167-172.

Dawood, M. A. O., Koshio, S., Ishikawa, M., El-Sabagh, M., Esteban, M. A. & Zaineldin, A. I. 2016. Probiotics as an environment-friendly approach to enhance red sea bream, Pagrus major growth, immune response and oxidative status. **Fish & Shellfish Immunology**, 57, 170-178.

De Silva, S. S., Gunasekera, R. M. & Keembiyahetty, C. 1986. Optimum ration and feeding frequency in *Oreochromis niloticus* young. p. 559-564. In **In Maclean, J.L., Dizon, L.B., Hosillos, L.V. (eds.) The First Fisheries Forum**. Asian Fisheries Society.

Diana, M., Quílez, J. & Rafecas, M. 2014. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review. **Journal of Functional Foods**, 10, 407-420.

Divakaran, S., Forster, I. P. & Velasco, M. 2004. Limitations on the use of shrimp Litopenaeus vannamei midgut gland extract for the measurement of in vitro protein digestibility. **Aquaculture**, 239(1-4), 323-329.

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

Esteban, M. Á., Meseguer, J., Tafalla, C. & Cuesta, A. 2008. NK-like and oxidative burst activities are the main early cellular innate immune responses activated after virus inoculation in reservoir fish. **Fish & Shellfish Immunology**, 25(4), 433-438.

Felix e Silva, A., Copatti, C. E., de Oliveira, E. P., Bonfá, H. C., Melo, F. V. S. T. d., Camargo, A. C. d. S. & Melo, J. F. B. 2020. Effects of whole banana meal inclusion as replacement for corn meal on digestibility, growth performance, haematological and biochemical variables in practical diets for tambaqui juveniles (Colossoma macropomum). **Aquaculture Reports**, 17, 100307.

Fillatreau, S., Six, A., Magadan, S., Castro, R., Sunyer, J. O. & Boudinot, P. 2013. The Astonishing Diversity of Ig Classes and B Cell Repertoires in Teleost Fish.

Frontiers in Immunology, 4(28).

Goldstein, J. L. & Wick, E. L. 1969. Lipid in ripening banana fruit. **Journal of Food Science**, 34(6), 482-484.

Hofer, R. & Schiemer, F. 1981. Proteolytic activity in the digestive tract of several species of fish with different feeding habits. **Oecologia**, 48(3), 342-345.

Huttenhuis, H. B. T., Grou, C. P. O., Taverne-Thiele, A. J., Taverne, N. & Rombout, J. H. W. M. 2006. Carp (Cyprinus carpio L.) innate immune factors are present before hatching. **Fish & Shellfish Immunology**, 20(4), 586-596.

Irianto, A. & Austin, B. 2002. Use of probiotics to control furunculosis in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum). **Journal of Fish Diseases**, 25(6), 333-342.

Kanazawa, K. & Sakakibara, H. 2000. High Content of Dopamine, a Strong Antioxidant, in Cavendish Banana. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(3), 844-848.

Kiel B. (1971). **Trypsin. In B. P. (ed.) (Ed.)**, **The Enzymes,** 3: **Hydrolysis - Peptide Bonds** (pp. 249–275). Amsterdam: Elsevier.

Kotecha, P. M. & B.B. Desai. (1995). **Banana. In D. K. S. a. S. K. (eds.) (Ed.)**, **Handbook of Fruit Science and Technology: production, composition, storage and processing** (pp. 67-90). New York: Marcel Dekker, Inc.,.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. & Randall, R. J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **J Biol Chem**, 193(1), 265-275.

Lugo-Villarino, G., Balla, K. M., Stachura, D. L., Bañuelos, K., Werneck, M. B. F. & Traver, D. 2010. Identification of dendritic antigen-presenting cells in the zebrafish. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 107(36), 15850-15855.

Magnadóttir, B. 2006. Innate immunity of fish (overview). **Fish & Shellfish Immunology**, 20(2), 137-151.

Moyano, F. J., Saénz de Rodrigáñez, M. A., Díaz, M. & Tacon, A. G. J. 2015. Application of in vitro digestibility methods in aquaculture: constraints and perspectives. **Reviews in Aquaculture**, 7(4), 223-242.

Palmer, J. K. 1971. Physical, rheological and chemical properties of bananas during ripening. **Journal of Food Science**, 38(3), 456-459.

Prabha, T. N. & Bhagyalakshmi, N. 1998. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. **Phytochemistry**, 48(6), 915-919.

Ramasubbu, N., Paloth, V., Luo, Y., Brayer, G. D. & Levine, M. J. 1996. Structure of Human Salivary **α**-Amylase at 1.6 Å Resolution: Implications for its Role in the Oral Cavity. **Acta Crystallographica Section D**, 52(3), 435-446.

Rattanavichai, W. & Cheng, W. 2015. Dietary supplement of banana (Musa acuminata) peels hot-water extract to enhance the growth, anti-hypothermal stress, immunity and disease resistance of the giant freshwater prawn, Macrobrachium rosenbergii. **Fish & Shellfish Immunology**, 43(2), 415-426.

Rombout, J. H. W. M., Abelli, L., Picchietti, S., Scapigliati, G. & Kiron, V. 2011. Teleost intestinal immunology. **Fish & Shellfish Immunology**, 31(5), 616-626.

Rungruangsak-Torrissen, K., Moss, R., Andresen, L. H., Berg, A. & Waagbø, R. 2006. Different expressions of trypsin and chymotrypsin in relation to growth in Atlantic salmon (Salmo salar L.). **Fish physiology and biochemistry**, 32(1), 7-23.

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

Salunke, D. K. & B.B. Desal. 1984. **Posthawest biotechnology of fruits**. CRC Press.

Secombes, C. J. 1990. Isolation of salmoid macrophages and analysis of their killing activity. **Techniques in Fish Immunology**, 1, 137-155.

Simmonds, N. W. 1966. **Bananas.** London**:** Longman**.**

Simmons, N. W. 1970. **Banana**. London: Longman.

Smith, H. M. 1945. **The freshwater fish of Siam, or Thailand**. Washington: USA. GOV. print off

Somamoto, T., Okamoto, N., Nakanishi, T., Ototake, M. & Nakao, M. 2009. In vitro generation of viral-antigen dependent cytotoxic T-cells from ginbuna crucian carp, Carassius auratus langsdorfii. **Virology**, 389(1), 26-33.

Sunde, J., Taranger, G. L. & Rungruangsak-Torrissen, K. 2001. Digestive protease activities and free amino acids in white muscle as indicators for feed conversion efficiency and growth rate in Atlantic salmon (Salmo salar L.). **Fish Physiology and Biochemistry**, 25(4), 335-345.

Suvatti, C. 1950. **Fauna of Thailand**. Bangkok: Department of fisheries.

Telli, G. S., Ranzani-Paiva, M. J. T., Dias, D. d. C., Sussel, F. R., Ishikawa, C. M. & Tachibana, L. 2014. Dietary administration of Bacillus subtilis on hematology and non-specific immunity of Nile tilapia Oreochromis niloticus raised at different stocking densities. **Fish & Shellfish Immunology**, 39(2), 305-311.

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

Urlaub, R. & Florida. (2002). **Enzymes in fruits and vegetable juice extraction. In R. J. a. L. Whitehurst, B.A., eds. (Ed.)**, **Enzyme in food technology** (pp. 144-182): Academic Press.

Wade, N. L., O'Connell, P. B. H. & Brady, C. J. 1972. Content of RNA and protein of the ripening banana. **Phytochemistry**, 11(3), 975-979.

Winkler, C., Elmasri, H., Klamt, B., Volff, J.-N. & Gessler, M. 2003. Characterization of hey bHLH genes in teleost fish. **Development Genes and Evolution**, 213(11), 541-553.

Workenhe, S. T., Rise, M. L., Kibenge, M. J. T. & Kibenge, F. S. B. 2010. The fight between the teleost fish immune response and aquatic viruses. **Molecular immunology**, 47(16), 2525-2536.

Yoshida, T. & Kitao, T. 1991. The opsonic effect of specific immune serum on the phagocytic and chemiluminescent response in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss phagocytes. **Gyobyo Kenkyu**, 26, 29–33.

Zapata, A., Diez, B., Cejalvo, T., Gutiérrez-de Frías, C. & Cortés, A. 2006. Ontogeny of the immune system of fish. **Fish & Shellfish Immunology**, 20(2), 126-136.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอาหาร ตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (1984)

การวิเคราะห์หาความชื้น

ในการวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารซึ่งสิ่งแรกที่ต้องทราบ คือความชื้นที่มีอยู่วัสดุอาหาร ดังนั้นการหาความชื้นในอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหาค่าตัวอย่างเปียกแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณกลับ การวิเคราะห์หาความชื้นของตัวอย่างอาหารทำได้หลายวิธี โดยวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายที่คือการทำให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปหลังจากที่ทำให้วัสดุแห้งแล้ว แต่ข้อเสียคือ วิธีนี้จะเป็นการยากที่จะทำให้ตัวอย่างอาหารแห้งสนิท โดยขณะทำให้แห้งอาจทำให้สารอาหารบางชนิดในตัวอย่างสูญสลายไปด้วย รวมถึงสารอื่น ๆ ที่สามารถระเหยได้นอกจากน้ำก็จะสูญเสียไปด้วย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
2. เตาอบแห้ง (drying oven)
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. คีมคีบ (tong)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
6. จานอลูมิเนียม (aluminium dish)
7. ตัวอย่างอาหาร
8. ช้อนตักสาร

วิธีการ

1. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง
2. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบที่อบแล้ว ใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกน้ำหนัก
4. ชั่งตัวอย่างอาหาร 1-2 กรัมแล้วใส่ลงถ้วยกระเบื้องเคลือบ
5. นำตัวอย่างอาหารเข้าตู้อบ อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. นำตัวอย่างอาหารที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

การคำนวณ

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

ก = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบรวมตัวอย่างก่อนอบแห้ง

ข = น้ำหนักของกระเบื้องเคลือบหลังอบแห้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่นำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาเถ้า

เถ้า (Ash) หมายถึง ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร หลังจากที่เผาผลาญสารอินทรีย์หมดแล้ว ในการหามักจะใช้ความร้อนเผาผลาญสารอินทรีย์ ดังนั้นค่าเถ้าที่ได้จึงไม่จำเป็นต้องเท่ากับปริมาณสารเกลือแร่ทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารตอนแรก สารอนินทรีย์หรือเกลือแร่บางส่วน จะสูญเสียไปโดยการระเหยเพราะความร้อนที่ใช้ในการเผานั่นเอง ค่าเถ้าที่ได้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารนั้น ๆ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain crucible)
2. ตู้ควัน (fume cupboard)
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. เตาเผา (muffle furnace)
5. แผ่นความร้อน (hot plate)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
7. จานอลูมิเนียม (aluminum dish)
8. ตัวอย่างอาหาร
9. คีมคีบ (tong)
10. ช้อนตักสาร

วิธีการ

1. อบถ้วยกระเบื้องเคลือบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้
3. ชั่งตัวอย่างอาหาร 1-2 กรัมใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
4. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมตัวอย่างไปเผาบนแผ่นความร้อนในตู้ดูดควันจนจนระทั่งหมดควัน

5. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว
6. นำตัวอย่างอาหารที่เผาแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

การคำนวณ

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

ก = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบรวมอาหารก่อนอบแห้ง

ข = น้ำหนักของกระเบื้องเคลือบหลังเผา

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่นำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาโปรตีน

วิธีเจล ดาหล์ (Kjeldahl method) เป็นการวิเคราะห์โปรตีนในอาหารโดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง วิธีนี้ พัฒนาโดย Dane Johan Kjeldahl เป็นชาวเดนมาร์ก ในช่วงปีค.ศ.1800 เป็นวิธีที่ใช้วัดปริมาณโปรตีน อย่างแพร่หลาย ได้รับการยอมรับว่ามีความแม่นยำ สามารถใช้ได้กับอาหารหลากหลายชนิด รวมทั้งอาหารสัตว์

หลักการ

Kjeldahl method การย่อยสลายโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การย่อยสลายโปรตีนจะเปลี่ยน Organic –N เป็น แอมโมเนีย และปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของ nitrogen (NH3-N)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก เข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียม ซัลเฟต: คอปเปอร์ซัลเฟต อัตรา 15 :1
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45 %
4. กรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
6. เมทธิลเรด อินดิเคเตอร์ (ผสมระหว่างเมทธิลเรด และเมทธิลีนบลู)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทำความร้อน
2. เครื่องกลั่น
3. Kjeldahl flask ขนาด 800 ml
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

5. กระบอกตวง
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
7. ปิเปต
8. บิวเรต
9. กระบอกฉีดพร้อมน้ำกลั่น
10. กระดาษกรอง
11. ลูกแก้ว
12. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 1-2 กรัมบนกระดาษกรอง แล้วห่ออาหารด้วยกระดาษกรอง แล้วพับใส่ Kjeldahl flask แล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 2-3 ช้อน และลูกแก้ว 3 ลูก แล้วเติมกรดซัลฟูริก เข้มข้น จำนวน 25 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน (โดยต้องทำ blank พร้อมกันไปด้วย)
2. ทำการย่อยตัวอย่างอาหารโดยนำ Kjeldahl flask ไปว่างต่อกับเครื่องทำความร้อน เปิดเครื่องดูดอากาศให้ความร้อนน้อย ก่อนจนลูกแก้วหยุดกระเด็นจึงให้ความร้อนเต็มที่ ระหว่างการย่อยให้หมุน Kjeldahl flask เป็นครั้งคราว ทำการย่อยจนสารละลายมีสีเขียวใส
3. ปิดเครื่องทำความร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ Kjeldahl flask เย็นจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 500 มิลลิลิตร
4. เตรียมกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล จำนวน 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมเมทธิลเรด อินดิเคเตอร์ 4 หยด นำมาต่อเข้ากับปลายเครื่องกลั่นโดยให้ปลายของท่อกลั่นจุ่มในสารละลาย เปิดน้ำผ่านเครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น
5. นำ Kjeldahl flask ที่ย่อยแล้วมาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 45 % จำนวน 80 มิลลิลิตรโดยเติมลงไปช้าๆแล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที เขย่าเป็นรูปวงกลมให้ละลายเข้ากัน
6. เปิดเครื่องทำความร้อนของเครื่องกลั่น จนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ออกจากปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายท่ออยู่เหนือสารละลายใช่น้ำกลั่นล้างปลายท่อ จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงไปแทน ปิดเครื่องทำความร้อนเฉพาะเตา

7. นำสารละลายที่ได้ (สีไวน์แดง) มาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเขียวใส

การคำนวณ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 1 ml มาตารฐาน 0.1 นอร์มอล ทำปฏิกิริยาได้พอดีกับไนโตรเจน 0.014 กรัม

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

ก = มิลลิลิตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจากตัวอย่าง

ข = มิลลิลิตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจาก Blank

ค = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ใช้

ต = น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาไขมัน

ไขมันรวมเป็นสารประกอบที่ละลายได้ในสารละลายพวกอีเทอร์ (Ether) สารประกอบส่วนใหญ่ที่สกัดได้เป็นไขมันที่แท้จริง (true fat) แต่มีจำนวนเล็กน้อยที่เป็นสารประกอบอื่น ๆ ที่ละลายได้ในอีเทอร์ เช่น วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน สารแคโรทีน คลอโรฟิล สารพวกสเตอรอล สารพวกฟอสโฟลิปิด และแวกซ์เป็นต้น ซึ่งไม่ทำให้ค่าของไขมันรวมเปลี่ยนแปลงไปมาก

สารเคมี

1. Hexane

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องมือ Soxhlet extraction apparatus
2. ขวดก้นแบน
3. Thimble
4. ตู้อบ
5. โถอบแห้ง
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
7. สำลี
8. คีมคีบ (tong)
9. ถุงมือ

10. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. นำขวดก้นแบน ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและจดบันทึกไว้
2. ชั่งตัวอย่างอาหาร 2 กรัมบนกระดาษกรองและจดบันทึกน้ำหนัก ทำการห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ลงใน Thimble แล้วปิดด้วยสำลีบางๆนำ Thimble ไปใส่ใน soxhletc และต่อ soxhlet เข้ากับเครื่องควบแน่น
3. เติม Hexane ลงขวดก้นแบนประมาณ 2ใน3 ของขวด นำมาต่อด้วย soxhlet และเครื่องให้ความร้อน
4. เปิดระบบน้ำให้ผ่านเครื่องควบแน่น และเปิดเครื่องให้ความร้อน ใช้ความร้อนประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสกัดเป็นเวลา 8 ชั่วโมง
5. ทำการถ่ายสารละลายออกจาก soxhlet โดยให้เหลือสารละลายอยู่ในขวดก้นแบนให้น้อยที่สุดและถอด soxhlet ออกจากขวดก้นแบนและเครื่องควบแน่น วางขวดไว้บนแผ่นความร้อนจนเกือบแห้งสนิท
6. นำขวดก้นแบนมาอบให้แห้งในตูอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงนำขวดก้นแบนที่อบเรียบร้อยแล้วมาวางทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

การคำนวณ

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

ก = น้ำหนักขวดก้นแบน

ข = น้ำหนักขวดก้นแบนหลังสกัดไขมันหลังอบ

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การวิเคราะห์หาเยื่อใย

การวิเคราะห์หาเยื่อใยในอาหารสัตว์ทำได้โดยนำอาหารมาต้มกับกรดและด่างอย่างอ่อน ซึ่งสารอินทรีย์จำพวกโปรตีน แป้ง น้ำตาล และคาร์โบไฮเดรตบางอย่างจะละลายในกรดและด่างส่วนสารอินทรีย์ที่เหลือจากสารสกัดเรียกว่า crude fiber ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย cellulose นอกจากนี้ยังมี hemicelluloses และ lignin ร่วมอยู่ด้วยเล็กน้อย แต่การวิเคราะห์หาเยื่อใยหยาบ ไม่ได้บ่งบอกถึงองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ถูกต้องนัก เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง(Structural

carbohydrate) เช่น hemicelluloses และ lignin บางส่วนสามารถละลายได้ในขั้นตอนการวิเคราะห์

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (เข้มข้น25%)
2. ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (เข้มข้น25%)
3. แอลกอฮอล์
4. antifoam

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.เครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น
2. ถ้วยแก้วกรอง
3. เตาเผา
4. ตู้อบ
5. ตัวอย่างอาหาร(ที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
7. เครื่องต้มน้ำพร้อมอุปกรณ์
8. คีมคีบ (tong)
9. กระบอกฉีดน้ำ
10. โถอบแห้ง

วิธีการ

1. นำถ้วยแก้วกรองไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักของถ้วยแก้วกรองที่แน่นอน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาวางให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้
2. นำตัวอย่างอาหารที่วิเคราะห์ใส่ลงในถ้วยแก้วกรองชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้
3. นำถ้วยแก้วกรองไปต่อเข้ากับเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser)แล้วจึงทำการเติมกรดซัลฟูริก (เข้มข้น25%) ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ condenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านเครื่องควบแน่น แล้วทำการเปิดเครื่อง ทำการต้มตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (เข้มข้น25%) เป็นเวลา 30 นาที เติมantifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)
4. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไป

ประมาณ 3 ครั้ง(จนหมดกรด)แล้วจึงทำการปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปุ่ม vacuum ไปที่ closes

5. เติมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์(เข้มข้น25%)ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ condenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านเครื่องควบแน่น แล้วทำการเปิดเครื่อง ทำการต้มตัวอย่างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์(เข้มข้น25%)เป็นเวลา 30 นาที เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)
6. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง(จนหมดด่าง)และล่างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง แล้วใช้แอลกอฮอล์หรืออะซิโตนล้างอีก 1 ครั้ง เพื่อไล่น้ำออกไป จากนั้นปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่ม vacuum ไปที่ closes
7. นำถ้วยแก้วกรองออกจากเครื่องกรอกโดยปรับคันโยก จากนั้นใช้คีมจับออกมานำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาวางทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้
8. จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในกระเบื้องเคลือบก่อนแล้วเก็บไว้ในโถอบแห้งจนเย็น ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

การคำนวณ

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

ก = น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง+กากหลังอบ

ข = น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง+กากหลังอบและหลังเผา

ค = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนฟรีเอกซแทรก (คาร์โบไฮเดรต)

ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกเป็นสารพวก คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ง่ายได้แก่ แป้ง น้ำตาลเป็นต้น แต่ในการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ปรากฏว่า มีสารพวกเฮมิเซลลูโลส และลิกนินบางส่วน วิตามินที่ละลายน้ำรวมอยู่ด้วย จึงไม่ใช่ค่าของแป้งและน้ำตาลที่แท้จริง อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาล

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนฟรีเอกซแทรก (คาร์โบไฮเดรต) = 100–ช –ถ –ป –ข –ย

ช = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง

ถ = เปอร์เซ็นต์เถ้าของตัวอย่าง

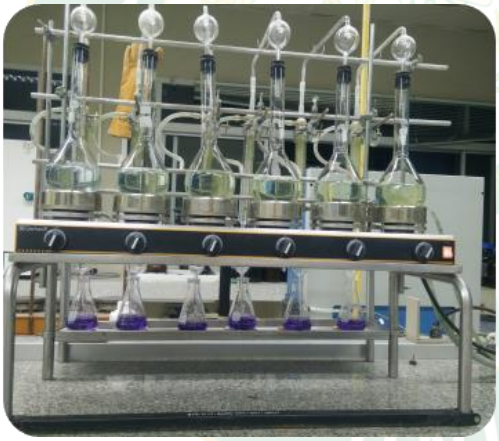
ป = เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตัวอย่าง

ข = เปอร์เซ็นต์ไขมันของตัวอย่าง

ย = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความชื้น

การวิเคราะห์เถ้า



การวิเคราะห์โปรตีน

การวิเคราะห์ไขมัน

การวิเคราะห์เยื่อใย

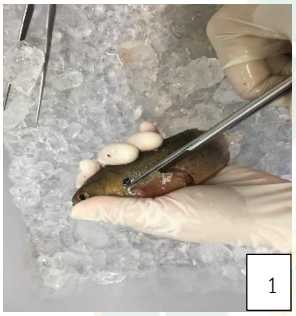
ภาคผนวก ข

In vitro digestibility

In vitro digestibility

1. การเตรียม Crude enzyme extract

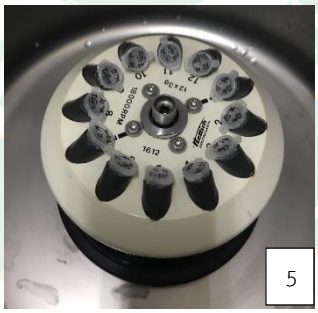
เก็บตัวอย่างลำไส้ของปลาหมอไทย บดลำไส้ปลาหมอไทย ด้วยเครื่อง homogenizer ให้แช่ในน้ำแข็งตลอดเวลา เพื่อให้เอมไซม์จะไม่ถูกทำลาย เติม phosphate buffer, pH 8 ลงในสำไส้ที่ทำการบด แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 15,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 - 60 นาที แยกส่วนใส (supernatant) ของ crude enzyme extract สำหรับ ใช้ศึกษาทั้ง trypsin และ chymotrypsin โดยให้แบ่งเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็น portion เล็ก ๆ สำหรับแยกนำมาใช้แต่ละครั้ง

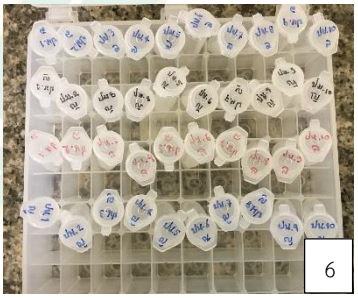

1

2

3

4


5


6

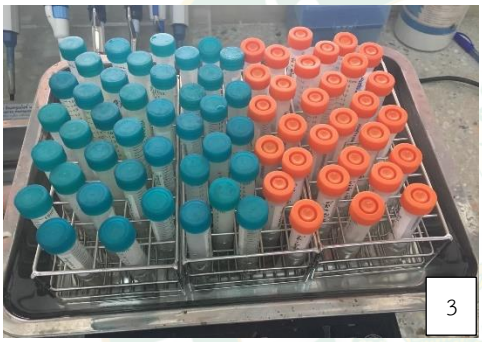
2. การศึกษาความสามารถในการย่อยอาหาร

นำวัตถุดิบอาหารทั้ง 10 ชนิด มาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักประมาณ 20 มิลลิกรัม เติม 40 ml mM Phosphate buffer pH 8.2 แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer เติม 200 µl 0.5 % Chloramphenical แล้วผสมให้เข้าด้วยกัน Vortex mixer นำไป incubate ใน Shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1.5 ml (Control) เติม 250 µl Dialyzed crude enzyme extract ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer แล้วนำไป incubate

ใน Shaking incubator (200 rpm) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1,000 µl นำไปต้มน้ำเดือดทันที เวลา 10 นาที แล้วแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

1

2



3

4

การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการ DNS

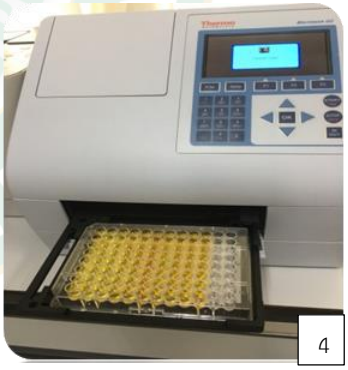
(Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

ผสม Control ที่ละลายแล้วให้เข้ากันด้วย vortex mixer นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบ เป็นเวลา 10 นาที ใช้ 250 µl Control เติม 250 µl 1% DNS ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่น 2.5 ml ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm หาค่าปริมาณ Reducing sugar โดยเปรียบเทียบกับ Maltose standard curve

1

2

3



4

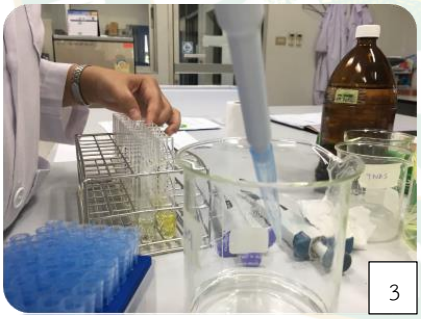
การวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยโปรตีน โดยวิธี TNBS

(Rungruangsak-Torrissen et al., 2002)

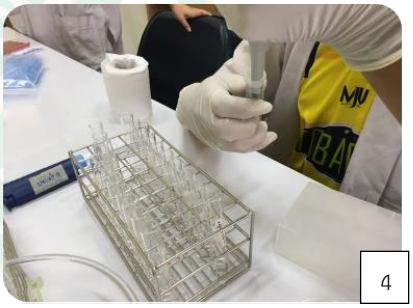
ผสม Control ที่ละลายแล้วให้เข้ากันด้วย vortex mixer ใช้ 200 µl Control เติม 2 ml 50 mM Phosphate buffer pH 8.2 แล้วผสมให้เข้าด้วยกันด้วย vortex mixer เติม 1 ml 0.1% TNBS ใน 50 mM Phosphate buffer pH 8.2 แล้วผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นำไป incubate ในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติม 1 ml HCl แล้วผสมให้เข้าด้วยกันด้วย vortex mixer ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm หาค่าปริมาณ Free amino group โดยเปรียบเทียบกับ DL-Alanine standard curve

1

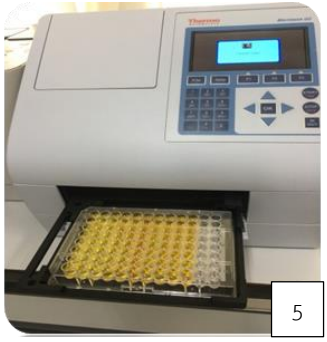
2



3



4



5

6

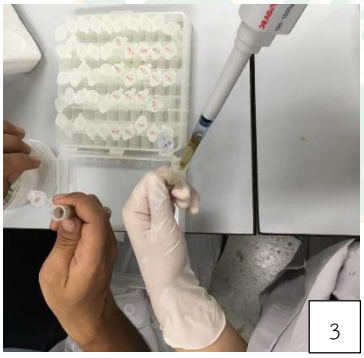
ศึกษาการทำงานของเอนไซน์ทริปซินและไคโมทริปซิน
ตามวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al., (2006)

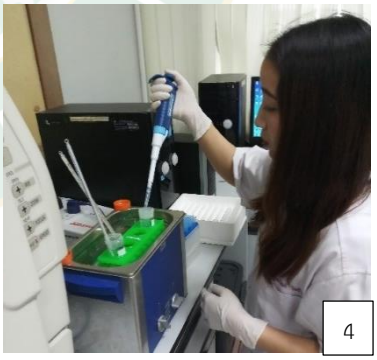
ศึกษาการทำงานของเอนไซน์ทริปซินและไคโมทริปซิน ตามวิธีการของ Rungruangsak-Torrissen et al., (2006) เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ p-nitro aniline เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างเอนไซม์และการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย

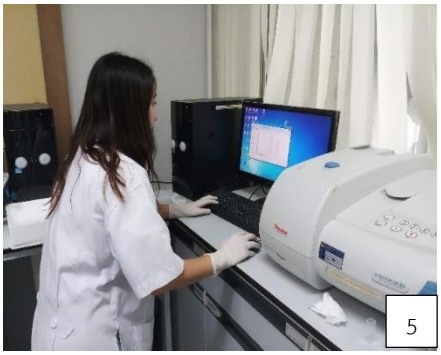
Specific substrates ละลาย Bensoyl-L-arginine-p-nitroanilide (1.25 mM) สำหรับ Trypsin substrate หรือ N-Succinyl-ala-ala-pro-phe-p-nitroanitroanilide (0.10 mM) สำหรับ Chymotrypsinsubstrate หยุดใช้ Substrates เมื่อเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม นำ Crude enzyme extract ผสมกับ Substrates แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงทันทีที่ 410 nm (A410) โดยวัด อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (Initial reaction) ภายในเวลา 60 วินาที

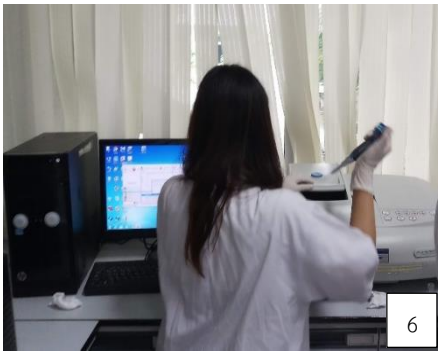
1

2


3


4


5


6

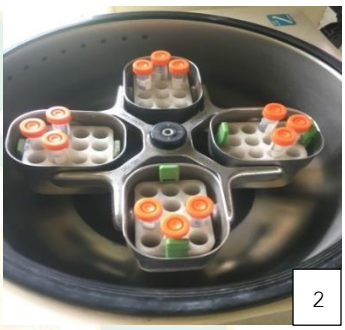
ภาคผนวก ค

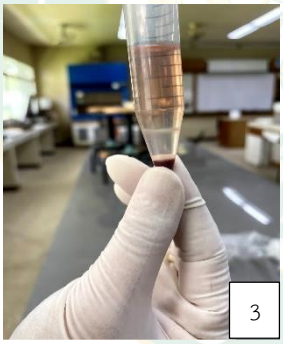
การตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของปลาหมอไทย

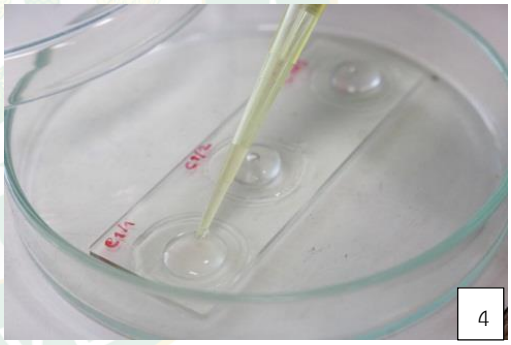
การตรวจสอบผลการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของปลาหมอไทย

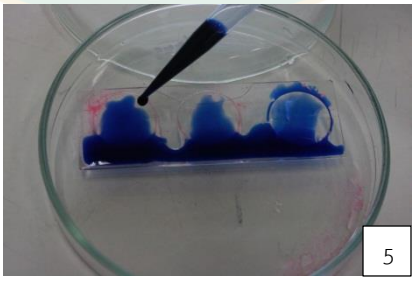
ทำการเจาะเลือดปลาหมอ และทำการแยกเซลล์เม็ดเลือดขาว เมื่อได้เซลล์เม็ดเลือดขาวแล้ว จึงนำมาผสมลาเท็กบีด ความเข้มข้น 2x107 เซลล์ต่อมิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้เกิดกระบวนการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว แล้วหยดลงบนแผ่นปิดสไลด์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง เพื่อรอให้เกิดการกลืนกิน Latex bead ของเซลล์เม็ดเลือดขาว และนำสไลด์ไปย้อมด้วยสี Diff-Quick จากนั้นนำสไลด์ที่ได้ไปนับจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว และจำนวนเซลล์ฟาโกไซต์ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ฟาโกไซต์

1


2


3


4


5

ภาคผนวก ง

งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแร่ และผลงานทางวิชาการ

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

Chomanan Potiwong, Tipsukhon Pimpimol and Pongsatorn Wongkumpun. 2018. Growth Performance of Climbing Perch (Anabas Testudineus) Feeding with Different Ripening Stages of Cultivated Banana (*Musa Acuminata*) . International Congress on Chemical, Biological and Environmental Sciences. 221-227 p.

โฉมอนันต์ โพธิวงค์, ชาญวิทย์ สุวรรณ์, พงศกร น้อยมูล, ภัคธีมา ยาวิชัย, สายสุนีย์ จิตมโนวรรณ์และชนกันต์ จิตมนัส.2563.ผลของพืชสมุนไพรต่อภูมิคุ้มกันและการเจริญเติบโตของปลา.วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 25 (2). มหาวิทยาลัยบูรพา. จันทบุรี.

โฉมอนันต์ โพธิวงค์, ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล, สุดาพร ตงศิริและชนกันต์ จิตมนัส.2564.ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบจากกล้วยด้วยเอนไซม์จากอวัยวะย่อยอาหารของปลาหมอไทย.วารสารแก่นเกษตร. 49 (3). มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวโฉมอนันต์ โพธิวงค์

เกิดเมื่อ 6 ตุลาคม 2534

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2557 ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิตการประมง (การประมง)
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่