ผลของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ต่อการเติบโต และการรอดของหอยหวาน *Babylonia areolata*.

นางสาวสุกัญญา จันทร์งาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PROTEIN, LIPID, AND CARBOHYDRATE ON GROWTH AND SURVIVAL OF SPOTTED BABYLON *Babylonia areolata*.

Miss Sukanya Janngam

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Marine science

Department of Marine science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ต่อการเติบโต และการรอดของหอยหวาน *Babylonia areolata.*
โดย	นางสาวสุกัญญา จันทร์งาม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์)

..... กรรมการ

(ดร. อรพร หมื่นพล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศานิต ปิยพัฒนากร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุกัญญา จันทร์งาม: ผลของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ต่อการเติบโต และการรอดของหอยหวาน *Babylonia areolata*. (EFFECTS OF PROTEIN, LIPID, AND CARBOHYDRATE ON GROWTH AND SURVIVAL OF SPOTTED BABYLON *Babylonia areolata*) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม: ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 66 หน้า.

การทดลองนี้ได้พัฒนาอาหารสำเร็จรูปที่มีสารอาหารหลัก ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่กำหนดเพื่อความเหมาะสมของระดับของสารอาหารดังกล่าวต่อการเติบโต และอัตรารอดของหอยหวาน การทดลองนี้ออกแบบการทดลองแบบสุ่มตลอด ที่มี 3 ปัจจัยร่วม (completely randomized design involved factorials) โดยมีโปรตีน 3 ระดับ (20, 28 และ36%) ไขมัน 2 ระดับ (10 และ15%) และคาร์โบไฮเดรต 3 ระดับ (25, 30 และ35%) อาหารเตรียมจากวัตถุดิบธรรมชาติและได้ทำการเลี้ยงหอยหวานขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ในระบบน้ำทะเลระบบหมุนเวียน ระยะเวลาเลี้ยง 6 เดือน ให้อาหาร 1 ครั้งต่อวัน หรือให้กินอาหารจนอิ่ม ผลการศึกษาพบว่า อาหารที่ศึกษาไม่มีผลต่ออัตรารอดของหอยหวาน ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง แต่มีผลต่อการเติบโตโดยความยาวเปลือก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) อาหารที่มีโปรตีน 36% มีอัตราการเติบโตสูงสุด ในขณะที่การเติบโตโดยน้ำหนักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดย ระดับโปรตีนที่ 36% คาร์โบไฮเดรตที่ 25% ไขมันที่ 10% มีอัตราการเติบโตสูงสุด ดังนั้นอาหารสูตรสำเร็จรูปที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวานควรมีระดับ โปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 36, 10 และ 25% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4872513323 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: SPOTTED BABYLON / SHELL LENGTH / WEIGHT / SURVIVAL RATE

SUKANYA JANNGAM: EFFECTS OF PROTEIN, LIPID, AND CARBOHYDRATE ON GROWTH AND SURVIVAL OF SPOTTED BABYLON *Babylonia areolata*. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph. D., THESIS COADVISOR: Mr. NILNAJ CHAITANAWISUTI, Ph. D., 66 pp.

The present study aims to formulate diet with suitable protein, lipid and carbohydrate for growth and survival of *B. areolata*. A completely randomized design involved factorials with 3 factors was conducted. Three levels of protein (20, 28 and36%), two levels of lipid (10 and15%), and three levels of carbohydrate (25, 30 and35%) in diets were prepared from natural raw materials. Juveniles *B. areolata* (size of 1 cm.) were fed prepared diets in a re-circulating water system for 6 months. Snails were fed to satiation once daily. The study found no significant differences ($P>0.05$) in survival among dietary treatments. But the growth rate (shell length) was significantly difference among the dietary treatments. The maximum shell length found in the diet containing 36% dietary protein ($P\leq0.05$). For weight, significant differences ($P\leq0.05$) were found in Babylon fed different dietary protein, lipid and carbohydrate levels. Maximum weight was observed in Babylon fed diet containing 36% protein, 25% carbohydrate and 10% lipid.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Marine Science Student's signature: .....

Field of study: Marine Science Advisor's signature: .....

Academic year: 2007 Co-advisor's signature: .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา ให้การดูแลเอาใจใส่ และคอยให้กำลังใจตลอดเวลา ทั้งยังช่วยรวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยรวมถึงช่วยแก้ไขในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ดร.นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำเรื่องระบบเลี้ยง รวมทั้งคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิติธรรมยง ดร.อรพร หมื่นพล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศานิต ปิยพัฒนากร สำหรับคำแนะนำ และร่วมเป็นประธานและกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณเสรี ดอนเหนือ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการทำอาหารสำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกัณฑิมา นกน้อย คุณยุทธพงษ์ อำพันทอง และคุณพีระพงษ์ ตัญจนะ ที่ได้ให้การช่วยเหลือในเรื่องระบบการเลี้ยง และดูแลสัตว์ทดลองให้บางเวลา

ขอขอบคุณ คุณจันทิมา โพธิ คุณพรพรรณ เกตุละออ คุณมานพ กอยากลาง คุณณัฐพล ทรัพย์เกิด คุณพรเทพ เชียรศิลป์ คุณธนะศักดิ์ โกยทา คุณณัฐฐา รัตนปัญญา คุณณัฐโสภิณ ทองประไพ คุณนวลกมล อำนวยสิน คุณศันสนีย์ สุขสถาวรพันธุ์ คุณนิยม วงศ์ใหญ่ คุณประภัสสร ปานมีทรัพย์ คุณภรัณยา ธิยะใจ คุณ Han Su Yin และคุณ Jeong Ji Hun รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลที่คอยช่วยเหลือ คอยส่งแรงใจความหวังดี และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาตลอดเวลา

ขอบคุณสัตว์ทดลองทุกชีวิตที่อุทิศตนและเสียสละชีวิตเพื่อให้การทำวิจัยของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องที่คอยถามไถ่ห่วงใย สนับสนุนอยู่เสมอ และอนุญาตให้เรียนได้จนจบหลักสูตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..จ
กิตติกรรมประกาศ……ฉ
สารบัญ……ช
สารบัญตาราง……..ฌ
สารบัญภาพ……..ฎ
บทที่
1. บทนำ……1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..4
3. วิธีดำเนินการวิจัย……..11
3.1. สถานที่วิจัย……11
3.2. การวางแผนการทดลอง……..11
3.3. การเตรียมบ่อเลี้ยง……..11
3.4. การทดสอบความคงสภาพของ binder, การเตรียมอาหารทดลอง และการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร……13
3.5. สัตว์ทดลอง และการเลี้ยงสัตว์ทดลอง……17
3.6. การประเมินผล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ……...19
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล……...20
4.1. การทดสอบความคงสภาพของ binder……..20
4.2. ผลของโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน……23
4.3. ผลของระดับโปรตีนต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน……..30
4.4. ผลของระดับไขมันต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน……30
4.5. ผลของระดับคาร์โบไฮเดรตต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน……...30
4.6. อัตราการรอด……...32
4.7. ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียน……...32
5. สรุปผลการวิจัย……..36
6. อภิปรายผลการวิจัย……...38
7. ข้อเสนอแนะ……...43

หน้า

รายการอ้างอิง.....44
ภาคผนวก ก.....50
ภาคผนวก ข.....54
ภาคผนวก ค.....60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1. ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ทดสอบความคงสภาพของ binder.....13
ตารางที่ 2. ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์) และคุณค่าทางอาหาร (เปอร์เซ็นต์).....16
ตารางที่ 3. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง ระยะเวลา 6 เดือน.....23
ตารางที่ 4. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย การเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....24
ตารางที่ 5. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง ระยะเวลา 6 เดือน.....26
ตารางที่ 6. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....27
ตารางที่ 7. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....29
ตารางที่ 8. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย การเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน ในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต.....31
ตารางที่ 9. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวาน ในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต.....31
ตารางที่ 10. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต.....32
ตารางที่ 11. อัตราการรอดของหอยหวาน (เปอร์เซ็นต์) ในแต่ละชุดการทดลอง.....33
ตารางที่ 12. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียนโดยเฉลี่ย.....33
ตารางที่ 13. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง.....60
ตารางที่ 14. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง.....60
ตารางที่ 15. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง.....60

ตารางที่ 16. ANOVA ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง……61
ตารางที่ 17. ANOVA ของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน
ในแต่ละชุดทดลอง……..61
ตารางที่ 18. ANOVA ของอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวาน
ในแต่ละชุดทดลอง……..61
ตารางที่ 19. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละ
ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……..62
ตารางที่ 20. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน
ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……62
ตารางที่ 21. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละ
ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……..63
ตารางที่ 22. ANOVA ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และ
คาร์โบไฮเดรต……..63
ตารางที่ 23. ANOVA ของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละ
ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……..64
ตารางที่ 24. ANOVA ของอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละ
ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……..64
ตารางที่ 25. ANOVA ของค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวาน
ในแต่ละชุดการทดลอง……65
ตารางที่ 26. ANOVA ของค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวาน
ในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต……65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 1. กระบะที่ใช้เลี้ยง.....11
รูปที่ 2. ระบบเลี้ยงแบบระบบปิดโดยมีระบบน้ำแบบหมุนเวียน.....12
รูปที่ 3. ระบบกรอง.....12
รูปที่ 4. แผนผังของระบบบ่อเลี้ยงหอยหวาน.....12
รูปที่ 5. อาหารที่ใช้ทดลอง binder ซึ่งมีลักษณะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ประมาณ 1 เซนติเมตร.....14
รูปที่ 6. การวัดความยาวเปลือกของหอยหวาน.....18
รูปที่ 7. การกินอาหารของหอยหวาน.....18
รูปที่ 8. การเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่มีส่วนผสมของ binder (gluten, ∝ - starch,
sodium carboxymethylcellulose (CMC), polymethylolcarbamide (PMC))
ที่ความเข้มข้น 3% และความเข้มข้น 5% ที่เวลา 30 นาที.....21
รูปที่ 9. การเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่มีส่วนผสมของ binder (gluten, ∝ - starch,
sodium carboxymethylcellulose (CMC), polymethylolcarbamide (PMC))
ที่ความเข้มข้น 3% และความเข้มข้น 5% ที่เวลา 60 นาที.....22
รูปที่ 10. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุด
การทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง.....25
รูปที่ 11. ความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุด
การทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง.....25
รูปที่ 12. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุด
การทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง.....28
รูปที่ 13. การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุด
การทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง.....28
รูปที่ 14. ปริมาณไนไตร์ท และแอมโมเนียเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีเอ็ม).....34
รูปที่ 15. พี-เอชเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง.....34
รูปที่ 16. อัลคาไลน์เฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีเอ็ม).....34
รูปที่ 17. ความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีที).....35

หน้า

รูปที่ 18. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (องศาเซลเซียส).....35
รูปที่ 19. การละลายของออกซิเจน (DO) เฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง
(มิลลิกรัมต่อลิตร).....35
รูปที่ 20. เครื่องวัดความเค็ม (Refractometer).....59
รูปที่ 21. เครื่องวัดค่าพี-เอช (pH meter).....59
รูปที่ 22. เครื่องวัดค่าการละลายออกซิเจน (DO meter).....59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

สัตว์น้ำเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของประเทศ ผลผลิตสัตว์น้ำทั้งหมดได้มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยง ซึ่งปัจจุบันการเพาะเลี้ยงได้เข้ามามีบทบาทต่อปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำมากขึ้น เนื่องจากปริมาณการจับสัตว์น้ำในธรรมชาติลดลง เพราะสาเหตุสำคัญหลายประการ เช่น การใช้ทรัพยากรสัตว์น้ำเกินศักยภาพการผลิตของทรัพยากรสัตว์น้ำ อันก่อให้เกิดสาเหตุของปัญหาต่างๆทางด้านการประมง, การขยายตัวทางด้านชุมชน แหล่งโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งการสร้างสิ่งก่อสร้างที่มีผลต่อแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิต และแหล่งวางไข่ของสัตว์น้ำเป็นต้น จากปัญหาเหล่านี้การเพาะเลี้ยงตามแนวชายฝั่งจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตสัตว์น้ำที่เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของประเทศ โดยการเพาะเลี้ยงที่นิยมกันอย่างหนึ่งคือ การเพาะเลี้ยงหอยหวาน

หอยหวานมีชื่อตามภาษาถิ่นว่า หอยตุ๊กแก หรือหอยทิพรส มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Spotted Babylon และชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Babylonia areolata* Link 1807 อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลที่มีพื้นเป็นทราย หรือทรายปนโคลน ที่ระดับความลึก 10-20 เมตร เป็นหอยฝาเดียว เปลือกค่อนข้างหนา เปลือกหอยเป็นรูปไข่ ผิวเรียบที่ผิวมีแถบสีน้ำตาลเข้มเป็นระยะๆ แหล่งที่พบมีการแพร่กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณอ่าวไทย และฝั่งอันดามัน (นิพนธ์ ศิริพันธ์ และจรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ, 2543; นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545; ธานินทร สิงหไกรวรรณ, 2539; Chaitanawisuti and Kritsanapuntu, 1997a)

ปัจจุบันหอยหวาน เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย รองลงมาคือ หอยสามสี (*Babylonia areolata austraoceanensis)* และหอยหมาก (*Babylonia spilata*) (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2548) ความต้องการหอยหวานในประเทศไทยนิยมบริโภคหอยขนาดใหญ่ประมาณ 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม โดยราคาที่เมืองไทย รับซื้อกันทั้งใหญ่ และเล็ก คละกันประมาณ 170-180 บาทต่อกิโลกรัม และเนื่องจากมีผู้บริโภคมากขึ้นจนทำให้มีราคาสูงขึ้น ซึ่งมีราคาประมาณ 300 บาทต่อกิโลกรัม (นิตยสารสัตว์น้ำ, 2543; Chaitanawisuti et al., 2002) ในขณะที่ตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาด ประมาณ 70-80 ตัวต่อกิโลกรัม แต่สำหรับ จีน ฮ่องกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น มีความต้องการหอยหวานที่จำหน่ายจากฟาร์ม ขนาด 100-150 ตัวต่อกิโลกรัม โดยมีราคาขาย 330-380 บาทต่อกิโลกรัม (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2548)

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ (2548) รายงานว่าในระยะเวลา 3 ถึง 5 ปี ปริมาณหอยหวานในธรรมชาติลดลงอย่างน่าวิตก และหอยหวานที่จับได้มีขนาดเล็กลง แต่ยังพบว่าปริมาณความต้องการของตลาดมีมากขึ้นจนทำให้ราคาสูงขึ้น ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรประมงชนิดนี้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในปัจจุบันนี้การเพาะเลี้ยงหอยชนิดนี้จึงมีบทบาทมากซึ่งสามารถนำไปสู่การเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ส่งผลให้มีการเพาะเลี้ยง ทั้งของรัฐ และเอกชนเกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดทั้งในประเทศ และต่างประเทศ แต่พบว่ายังมีต้นทุนในการผลิตสูง และอาหารที่ใช้เลี้ยงมีราคาสูง ซึ่งปัจจุบัน พบว่า ใช้ปลาข้างเหลือง ปลาเป็ด (สัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจน้อย ได้แก่ ปลาอมไข่ ปลาแป้น และลูกปลาเศรษฐกิจขนาดเล็กเป็นต้น) หรือปลาเลย (สัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ หมึก ปลาทรายแดง ปลาสาก ปลาปากคม ปลากดทะเล ปลาจะละเม็ด ปลาลิ้นหมา ปลากด ปลาริวกิว ปลากะพง และกุ้ง เป็นต้น) (นิตยสารสัตว์น้ำ, 2543) เป็นอาหารตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ประมาณ 6-8 เดือน สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน คือ ความไม่เพียงพอของปลาเหยื่อ คุณภาพเนื้อปลาไม่ดี ราคาปลาเหยื่อแพง และขาดแคลนในช่วงมรสุม ซึ่งปลาเหยื่อปกติใช้เป็นอาหารในการเลี้ยง ปลากระพง เป็ด และไก่ด้วย (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545; ระย้า เพชรขำ, 2545) ดังนั้นปัญหาเหล่านี้จะทวีคูณถ้ามีการเพิ่มฟาร์มเลี้ยงหอยหวานขนาดตลาดเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ปลาเหยื่อมักเก็บรักษาในสภาพที่ไม่ถูกต้องจึงทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่าย ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำ เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันของโปรตีน ก่อให้เกิดสารฮีสตามีน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Lall, 1991) ทำให้หอยโตช้า และอัตราการรอดต่ำ ดังนั้นการศึกษาหาอาหารที่เหมาะสมเพื่อการเลี้ยงหอยหวานในเชิงพาณิชย์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ต่อความสำเร็จของธุรกิจการเลี้ยงหอยหวานในอนาคต ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นประการหนึ่ง คือการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป โดยการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปมีข้อดีหลายประการ อาทิ ไม่เกิดการเน่าเสียได้ง่าย สามารถรักษาระดับคุณภาพของอาหารให้อยู่ในช่วงที่สัตว์น้ำต้องการได้ รวมทั้งสามารถผสมสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุที่สัตว์น้ำต้องการลงไปได้อย่างสะดวก สามารถเลี้ยงได้ในพื้นที่ทั่วไปในบริเวณกว้าง เนื่องจากขนส่งสะดวก นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้มีกำไรในการเลี้ยงเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Boonyaratpalin, 1991)

ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงหอยหวาน ด้วยอาหารสำเร็จรูปจึงมีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงคือการศึกษาด้านโภชนศาสตร์ โดยเฉพาะความต้องการสารอาหารหลักๆได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เพราะสารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเจริญเติบโต และอัตราการรอด การที่สัตว์น้ำได้รับอาหารที่มีความสมดุลทางโภชนาการ และคุณภาพ ทำให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตดี อัตรารอดสูง ปราศจากโรค ซึ่งทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุน เพราะฉะนั้นการพัฒนา

อาหารสำเร็จรูปเพื่อการเลี้ยงหอยหวานจึงมีความน่าจะเป็น และควรมีการดำเนินการโดยเร็ว และในอาหารควรมีสารอาหารหลักที่เพียงพอ และเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการรอดของหอยหวาน ส่งผลให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการรอด และการเจริญเติบโตของหอยหวาน ขนาด 1 เซนติเมตร จนถึง ขนาดตลาด

วัตถุประสงค์

ศึกษาหาปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่ให้อัตราการเจริญเติบโต และการรอดของหอยหวาน *Babylonia areolata* ที่ดีที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาอาหารสำเร็จรูป ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหอยหวาน
2. เป็นความรู้พื้นฐานในการศึกษาด้านโภชนาการเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงหอยหวานในอนาคต
3. ทราบระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในอาหารผสมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หอยหวาน

หอยหวานหรือหอยตุ๊กแก มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Spotted Babylon มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Babylonia areolata* Link 1807 หอยหวานเป็นหอยทะเลฝาเดียว ถูกจัดจำแนกตามหลักอนุกรมวิธาน ดังนี้ Phylum Mollusca, Class Gastropoda, Subclass Prosobranchia, Order Neogastropoda, Family Buccinidae, Genus *Babylonia*, Species *areolata* มีเปลือกค่อนข้างหนา ผิวเรียบสีขาวมีแต้มสีน้ำตาล บริเวณปลายสุดของส่วนเปลือกจะแหลม โดยส่วนหัวจะขดเป็นเกลียว และมีร่องที่ไม่ลึกมากนัก ฝาปิดเป็นรูปทรงไข่สามารถปิดช่องเปิดลำตัวได้อย่างสนิท หอยหวานมีหนวดที่ศีรษะ และตาอย่างละ 1 คู่

โดยทั่วไปหอยหวานอาศัยอยู่ตามพื้นทะเลที่เป็นทราย หรือทรายปนโคลน ที่ระดับความลึก 10-20 เมตร พบแพร่หลายในแถบชายฝั่ง Indo-pacific ซึ่งประเทศไทยพบทั้งบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ได้แก่ ระยอง จันทบุรี ตราด เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ ระนอง และสตูล (นิพนธ์ ศิริพันธ์ และจรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ, 2543; นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545; ธานินทร สิงหไกรวรรณ, 2539; Altena and Gittenberger, 1981; Chaitanawisuti and Kritsanapuntu, 1997a)

วงจรชีวิต

หอยหวานผสมพันธุ์โดยการจับคู่ระหว่างเพศผู้ และเพศเมีย เมื่อไข่ได้รับการผสมในท่อนำไข่ และถูกห่อหุ้มด้วยฝักไข่แล้วจะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกร่างกาย เพศเมียมี pedal gland ที่บริเวณเท้า ทำหน้าที่ผลิตเมือกสำหรับยึดฝักไข่ติดกับวัสดุอื่น วงจรชีวิตของหอยหวานเริ่มจากไข่ที่ปฏิสนธิแล้ว พัฒนาเป็นลูกหอยระยะพัฒนาที่เรียกว่า Trocophore ภายในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการวางไข่ ลูกหอยระยะนี้จะเจริญอยู่ในฝักไข่เป็นเวลาประมาณ 4-5 วัน หลังจากนั้นลูกหอยระยะวัยอ่อน (veliger) จึงฝักออกจากฝักไข่ และดำรงชีพเป็นแพลงก์ตอนล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ และกินอาหารด้วยการกรอง โดยลูกหอยมีอวัยวะคล้ายแปรงเป็นวงที่เรียกว่า velum สำหรับพัดโบกน้ำทะเลเข้าสู่ช่องปาก และกรองกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร โดยลูกหอยวัยอ่อนจะเจริญเข้าสู่ลูกหอยระยะลงพื้น (settled juveniles) ภายในระยะเวลาประมาณ 14-16 วัน หอยระยะนี้มีเปลือก และรูปร่างสมบูรณ์เหมือนพ่อแม่ทุกประการ และดำรงชีพด้วยการคืบคลานบนพื้นทะเล รวมทั้งกินซากสัตว์ที่ตายแล้วทั้งในสภาพสด และไม่สดเป็นอาหาร โดยยื่นส่วน proboscis หรือ

งวง ออกมาดูดจับอาหาร และมีต่อมน้ำลายสำหรับสร้างน้ำย่อย และส่งออกมาทาง proboscis ซึ่งมีลักษณะเป็นงวงยาว ใช้ย่อยอาหารจากภายในตัวเหยื่อ แล้วจึงดูดซึมสารอาหารที่ย่อยแล้วเข้าไปในร่างกาย (Thirumavalavan, 1987 อ้างถึงโดยขนิษฐา แสงงาม, 2541) ตัวอ่อนที่ลงเกาะใหม่มีความกว้าง และความยาวของเปลือกโดยเฉลี่ย 1.16 และ 1.52 มิลลิเมตร ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตของตัวอ่อนที่ลงเกาะแล้วมีความยาว และน้ำหนัก เพิ่มขึ้น 4.26 มิลลิเมตรต่อเดือน และ 2.28 กรัมต่อเดือน หอยหวานสามารถเริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ได้ที่ความยาวเปลือกประมาณ 3.6 เซนติเมตร หรืออายุประมาณ 6 เดือนหลังจากวางไข่ (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545; Chaitanawisuti and Kritsanapuntu, 1997)

สถานะภาพทางเศรษฐกิจ

ปัจจุบันหอยหวานจัดว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ความต้องการหอยหวานในประเทศไทยนิยมบริโภคหอยขนาดใหญ่ประมาณ 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม โดยราคาที่เมืองไทยรับซื้อกันทั้งใหญ่ และเล็กคละกันประมาณ 170-180 บาทต่อกิโลกรัม และเนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคมากขึ้นจนทำให้มีราคาสูงขึ้น ซึ่งมีราคาประมาณ 300 บาทต่อกิโลกรัม (นิตยสารสัตว์น้ำ, 2543; Chaitanawisuti et al., 2002) ในขณะที่ตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาด ประมาณ 70-80 ตัวต่อกิโลกรัม แต่สำหรับ จีน ฮ่องกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น มีความต้องการหอยหวานที่จำหน่ายจากฟาร์ม ขนาด 100-150 ตัวต่อกิโลกรัม โดยมีราคาขาย 330-380 บาทต่อกิโลกรัม (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2548)

หอยหวานนอกจากจะนำมาบริโภคแล้วเปลือกหอยสามารถนำมาทำประโยชน์ อื่นๆ ได้อีก เช่น ทำเครื่องประดับ ของที่ระลึก หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมปูนขาว และฝาปิดเปลือกสามารถนำไปสกัดสารที่ใช้เป็นยาหรือน้ำหอมได้ (Shanmugaraj et al., 1994 อ้างถึงโดยขนิษฐา แสงงาม, 2541) ส่งผลให้มีการทำประมงหอยหวานเพิ่มขึ้น แต่ประชากรหอยหวานในธรรมชาติมีแนวโน้มลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545) ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงหอยหวานจึงมีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตของประชากรหอยหวานให้เพียงพอต่อความต้องการ และเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตให้มีคุณภาพดีขึ้นนั้นเอง

การเพาะเลี้ยงหอยหวาน

สำหรับระบบที่ใช้เพาะเลี้ยงหอยหวานในประเทศไทยในระยะวัยรุ่นถึงขนาดตลาด ส่วนใหญ่เลี้ยงด้วยระบบน้ำทะเลแบบไหลผ่านตลอด และระบบน้ำทะเลแบบหมุนเวียน โดยน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงหอยหวาน ควรมีความเค็มอยู่ในช่วง 28 - 35 พีพีที ที่อุณหภูมิประมาณ 28 ถึง 30 องศา

เซลเซียส และลูกหอยที่เหมาะสมจะนำไปเลี้ยงนั้น อย่างน้อยควรมีความยาวเปลือก 0.5 เซนติเมตรขึ้นไป ถ้าจะให้ได้ผลดีควรมีความยาวเปลือกตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ขึ้นไป ซึ่งมีอัตราการรอดตายค่อนข้างสูง เนื่องจากลูกหอยหวานขนาดนี้ จะมีความแข็งแรง และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีมาก เหมาะที่จะนำไปเลี้ยงเป็นหอยเนื้อขนาดที่ตลาดต้องการได้ (บังอร ศรีมุกดา และคณะ, 2548)

จากการศึกษาของ Chaitanawisuti and Kritsanapuntu. (2000) พบว่าการเลี้ยงหอยหวานขนาดเริ่มต้น 12.8 มิลลิเมตรจนถึงขนาดตลาด เป็นเวลา 240 วัน อัตราการเจริญเติบโตทางด้านความยาวเปลือก และน้ำหนักเพิ่มขึ้น 3.86 มิลลิเมตรต่อเดือน และ1.47 กรัมต่อเดือน และมีค่า FCR เท่ากับ 1.68 เมื่อเลี้ยงด้วยระบบน้ำทะเลแบบไหลผ่านตลอด และ3.21 มิลลิเมตรต่อเดือน และ1.11 กรัมต่อเดือน รวมถึงค่า FCR เท่ากับ 1.96 เมื่อเลี้ยงด้วยระบบน้ำทะเลแบบหมุนเวียน และจากการศึกษาผลผลิตจากการเลี้ยงลูกหอยหวานระยะวัยรุ่นเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอด และระบบน้ำทะเลหมุนเวียนได้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 42.5 กิโลกรัมต่อบ่อ และ38.0 กิโลกรัมต่อบ่อ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการเลี้ยงด้วยระบบน้ำทะเลแบบหมุนเวียนมีอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตต่ำกว่าการเลี้ยงด้วยระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอดเล็กน้อย โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหอย คือ คุณภาพน้ำทะเลในบ่อเลี้ยงต่ำลง เมื่อระยะเวลาเลี้ยงผ่านไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแร่ธาตุ ($CaCo_3$) ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต และการสร้างเปลือกของหอยหวาน สำหรับการประเมินผลต้นทุน และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า ไม่มีความแตกต่างจากระบบน้ำทะเลแบบไหลผ่านตลอดมากนัก (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545; Chaitanawisuti and Kritsanapuntu, 2002a; Chaitanawisuti, Kritsanapuntu and Natsukari, 2004)

อาหาร

ปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยง คือ การศึกษาด้านโภชนศาสตร์ โดยเฉพาะการศึกษาเรื่องอาหาร เช่น ชนิดของอาหาร ความต้องการอาหาร พฤติกรรมการกินอาหาร เป็นต้น เนื่องจากอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเจริญเติบโต และส่งผลต่ออัตราการรอด การที่สัตว์น้ำได้รับอาหารที่มีความสมดุลทางโภชนาการ และคุณภาพ ทำให้สัตว์น้ำมีการอัตรการเจริญเติบโตดี อัตราการรอดสูง ปราศจากโรค ซึ่งทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุน และเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยพัฒนาการเพาะเลี้ยงหอยหวานให้ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคตได้

Runghunathan et al. (1994) และPatterson et al. (1995) ศึกษาพฤติกรรมการกินอาหารของ *Babylonia spirata* โดยให้อาหารต่างชนิดกันพบว่า หอยชนิดนี้ชอบกินหอยนางรม

มากที่สุด รองลงมาคือเนื้อกุ้ง *Penaeus indicus*, เนื้อหอย *Meretrix meretrix*, เนื้อหอยแมลงภู่, เนื้อปลา, เนื้อกุ้ง *Oratosquilla* sp., เนื้อหมึก, และเนื้อปูตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเวลากินอาหารชนิดเดียวกันที่มีปริมาณ 2 กรัม *Babylonia spirata* ขนาดใหญ่ (ความยาว 5.5-6.0 เซนติเมตร) ใช้เวลา 7.2 นาที ในขณะที่ขนาดเล็ก (ความยาว 3.5-4.0 เซนติเมตร) ใช้เวลาถึง 13.4 นาที และ*Babylonia spirata* ที่เลี้ยงด้วยหอย *Meretrix meretrix* เป็นเวลา 10 เดือน มีการเติบโตเพิ่มขึ้นจากน้ำหนัก 6.4-7.8 กรัม และความยาว 2.95-3.00 เซนติเมตร เป็น 11.1-14.1 กรัม และ3.55-3.86 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยที่มีความต้องการอาหารเพิ่มจาก 0.51 เป็น 1.93 กรัมต่อวัน ซึ่ง *Babylonia spirata* มีความต้องการอาหาร 6.57 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (น้ำหนักเปียก) Le Vinh and Ngo Dang Nghia. (2006) ศึกษาเกี่ยวกับผลของอาหารสดต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน โดยให้อาหารสดที่แตกต่างกัน ได้แก่ เนื้อหมึก ปู และเนื้อกุ้ง พบว่า อาหารสดที่ให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยหอยที่กินเนื้อปูให้การเจริญเติบโตสูงสุด และมีค่า FCR ต่ำสุด เมื่อเทียบกับอาหารสดอื่นๆ และสำหรับหอยหวาน ที่เลี้ยงด้วย ปลา *Selaroides leptolepis* ในระบบน้ำทะเลไหลผ่านตลอด ซึ่งได้รับอาหาร 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ3 ครั้งต่อวัน พบว่าการให้อาหาร 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ3 ครั้งต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันในแง่ของอัตราการเจริญเติบโตของหอยหวาน ในด้านความยาวเปลือกและน้ำหนัก แต่พบว่าการให้อาหาร 2 ครั้ง และ3 ครั้งต่อวัน มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวเปลือก และน้ำหนักสูงสุด (Chaitanawisuti and Kritsanapuntu, 1999) Chen et al. (2005) ศึกษาผลของการให้อาหารที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการกินอาหาร และการเจริญเติบโตของ *Babylonia formosae habei* ในระยะ juvenile โดยให้อาหาร (เนื้อกุ้ง *Penaeus vannamei*) 1 ครั้งต่อวัน ทุกๆ 1, 2, 5 และ10 วัน พบว่าการให้อาหาร 1 ครั้งต่อวันทุกๆ 1 และ2 วัน ไม่มีความแตกต่างกันในด้านของการเติบโตของหอย และให้ผลของอัตราการบริโภคอาหาร ระยะเวลาในการกินอาหาร รวมถึงการเจริญเติบโต สูงกว่าการให้อาหาร 1ครั้งต่อวันทุกๆ 5 และ10 วัน

ในปัจจุบันพบว่าการเลี้ยงหอยหวาน ใช้ปลาข้างเหลือง ปลาเป็ด หรือปลาเลย เป็นอาหารตลอดระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 6-8 เดือน ทำให้พบสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น อาทิ ความไม่เพียงพอของปลาเหยื่อ ราคาปลาเหยื่อแพง และขาดแคลนในช่วงมรสุม คุณภาพเนื้อปลาไม่ดี และเกิดการเน่าเสียของปลาเหยื่อเนื่องจากเก็บรักษาในสภาพที่ไม่ถูกต้อง และคุณภาพน้ำเน่าเสีย เป็นเหตุให้หอยโตช้า (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545)

ลือชัย ดรุณชู และคณะ (2548) ได้ศึกษาการเลี้ยงหอยหวาน ด้วยอาหาร 4 ชนิด คือ เนื้อปลาข้างเหลือง อาหารสำเร็จรูปชนิดเปียก เนื้อหอยแมลงภู่ และเนื้อหมึก พบว่าชนิดของอาหารทั้ง 4 ชนิดให้ผลต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของหอยหวานเมื่อเลี้ยงได้ 56 วัน ไม่แตกต่างกัน แต่อัตราการแลกเนื้อของหอยที่กินอาหารสำเร็จรูปมีค่าสูงกว่าหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารสดทุก

ชนิด ส่งผลให้การพัฒนาอาหารสำเร็จรูปเพื่อการเลี้ยงหอยหวานจึงมีความน่าจะเป็น และควรมีการดำเนินการโดยเร็ว

อาหารสำเร็จรูป และสารอาหารหลัก

อาหารสำเร็จรูปมีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายของอาหาร สามารถรักษาระดับคุณภาพของอาหารให้อยู่ในช่วงที่สัตว์น้ำต้องการได้ รวมทั้งสามารถผสมสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุที่สัตว์น้ำต้องการลงไปได้อย่างสะดวก สามารถเลี้ยงได้ในพื้นที่ทั่วไปในบริเวณกว้าง เนื่องจากขนส่งสะดวก นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้มีกำไรในการเลี้ยงเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Boonyaratpalin, 1991) อย่างไรก็ตามอาหารสำเร็จรูปที่ใช้ต้องคำนึงถึงปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมโดยเฉพาะสารอาหารหลัก (macronutrient) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น เนื่องจากสารอาหารเหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกายของสัตว์น้ำในหลายๆ ด้าน ดังนี้

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในทางโภชนาการ โดยมีบทบาทที่สำคัญคือ ทำหน้าที่หลักในการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกาย การสร้างเซลล์ใหม่เพื่อซ่อมแซมอวัยวะที่สึกหรอ เป็นแหล่งพลังงานสำรองในร่างกาย ทำให้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานอื่น (ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต) ด้วย โดยทั่วไปถ้าสัตว์น้ำได้รับพลังงานจากอาหารที่เหมาะสม โปรตีนจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง แต่ถ้าสัตว์ได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอ โปรตีนจะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิต ทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของสัตว์ลดลง สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีน ได้แก่ ปลาป่น กากกุ้งป่น และกากถั่วเหลือง เป็นต้น

1. ปลาป่น เป็นวัตถุดิบที่นิยมใช้ผลิตอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากปลาป่น มีปริมาณโปรตีนที่มีคุณภาพสูงมากกว่า 55-60% มีกรดอะมิโนครบทุกชนิด มีแคลเซียม และฟอสฟอรัสปริมาณมาก และยังมีกลิ่นหอมที่ดีช่วยกระตุ้นให้สัตว์น้ำกินอาหารได้มากขึ้น ปลาป่นที่จะนำมาผลิตอาหารสัตว์น้ำควรมีกลิ่นหอม ไม่มีกลิ่นเหม็นไหม้ และปราศจากการปลอมปนจากทรายละเอียด เปลือกหอย ยูเรีย ขนไก่หรือสารปลอมปนอื่นๆ เนื่องจากทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง ดังนั้นการเลือกซื้อปลาป่นจึงควรซื้อปลาป่นที่มีคุณภาพสูง ปราศจากการปลอมปน ซึ่งถ้าผู้เลี้ยงไม่แน่ใจในคุณภาพของปลาป่น ก็อาจนำไปวิเคราะห์ทางเคมี หรืออาจเลือกใช้กากถั่วเหลืองเป็นส่วนผสมหลักให้มากขึ้น เนื่องจากกากถั่วเหลืองมีคุณภาพใกล้เคียงกับปลาป่น แต่กากถั่วเหลืองมีคุณภาพสม่ำเสมอดีกว่า สาเหตุที่มีการปลอมปนอย่างมากในปลาป่นเนื่องจากปลาป่นมีราคาแพง ทำให้มีการนำเอาวัสดุที่มีราคาถูกหรือคุณค่าทางโภชนาการต่ำใส่ป่นเข้าไป เพื่อขายปลาป่นให้ได้ปริมาณมากขึ้น (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

2. กากถั่วเหลือง เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลือง ที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์น้ำมี 3 ลักษณะ ได้แก่ กากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือก และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดกะเทาะเปลือก กากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน มีไขมันประมาณ 7% จึงเก็บไว้ได้ไม่นาน แต่กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน มีไขมันประมาณ 1% จึงเก็บไว้ได้นานกว่ากากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน และกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดกะเทาะเปลือกมีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่ากากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือก กล่าวคือ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดกะเทาะเปลือก มีโปรตีน และเส้นใยประมาณ 50% และ 4% ตามลำดับ ในขณะที่กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือก มีโปรตีน และเส้นใยประมาณ 45% และ 7% ตามลำดับ ซึ่งเนื่องจากการกะเทาะเปลือกก่อนการสกัดน้ำมันจะเหลือแต่เมล็ดถั่วเหลืองเท่านั้น จึงทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการดีกว่าไม่กะเทาะเปลือก การพิจารณาเลือกซื้อกากถั่วเหลืองควรระมัดระวังอย่างยิ่ง เนื่องจากการผลิตกากถั่วเหลืองจำเป็นต้องมีความร้อนเกี่ยวข้อง ซึ่งถ้าใช้ความร้อนน้อยเกินไปจะทำให้สารยับยั้งทริพซินในกากถั่วเหลืองไม่ถูกทำลาย และเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ถ้าใช้ความร้อนมากเกินไป กากถั่วเหลืองมีกลิ่นไหม้ และกรดอะมิโนชนิดไลซีนจับตัวกับน้ำตาล ทำให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์ได้น้อย และเติบโตช้า ดังนั้นจึงควรเลือกซื้อ กากถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนพอดี (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

3. กากกุ้งป่น เป็นส่วนของเปลือกกุ้ง หรือหัวกุ้งที่เหลือจากการทำกุ้งกระป๋อง หรือกุ้งแช่แข็ง กากกุ้งจะมีโปรตีนที่ย่อยยาก แต่จะมีแคลเซียม และไคตินจากเปลือกกุ้งอยู่ในระดับสูงจึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมของอาหารกุ้ง เนื่องจากกุ้งมีความต้องการแคลเซียมมาก นอกจากนี้ กากกุ้งยังมีกลิ่นหอม น่ากิน ช่วยให้สัตว์น้ำกินอาหารได้ดีขึ้น แต่การนำกากกุ้งมาเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารไม่ควรใช้มากกว่า 10% (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

โดยมากความต้องการโปรตีน เพื่อการเจริญเติบโตของปลากินเนื้อ ส่วนใหญ่ต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตสูงประมาณ 35% ขึ้นไป ปลากินพืช, ปลากินพืช และเนื้อต้องการโปรตีนประมาณ 20-25% และ 25-35% ตามลำดับ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Wilson, 2002)

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ ฮอร์โมน และเอนไซม์ และไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานมากที่สุด (9.45 กิโลแคลลอรี่/กรัม) กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) เป็นอนุพันธ์ไขมัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อร่างกาย โดยช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน นอกจากนี้ไขมันยังมีอิทธิพลต่อรสชาติอาหาร คือเป็นสารดึงดูด (attractants) เป็นต้น โดยมากน้ำมันที่ใช้ในสูตรอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ น้ำมันปลาสลิด น้ำมันปลาทูน่า หรือน้ำมันตับปลาชนิดอื่นๆ เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้ส่วนใหญ่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง (polyunsaturated fatty acid หรือ PUFA) ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ดี

สำหรับการศึกษาระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารสำหรับสัตว์น้ำมีน้อยมาก การศึกษาส่วนใหญ่จึงเป็นการศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของไขมัน หรือพลังงานต่อโปรตีน (DE/P) เพื่อจะใช้ประโยชน์ต่อการใช้ไขมัน และโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น Takeuchi et al. (1978) ผลิตอาหารทดสอบที่มีโปรตีน 16-48% และไขมัน 5-20% ให้ปลาเรนโบว์ เทร้าพบว่าจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับสัดส่วนของโปรตีน และไขมัน 35% และ15-20% ตามลำดับ โดยสามารถลดระดับโปรตีนจาก 48% เป็น 35% โดยที่น้ำหนักปลาไม่เปลี่ยนแปลง และจากการศึกษาของ Cowey and Sargent (1979) พบว่าระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารปลาส่วนมากควรอยู่ในช่วง 10-15% เพราะระดับไขมันดังกล่าวทำให้ปลาใช้โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการเจริญเติบโตเป็นปกติ และมีผลต่อคุณภาพซากน้อยมาก (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

สำหรับคาร์โบไฮเดรตนั้นจะทำหน้าที่สำคัญคือ เป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืชและสัตว์ เป็นสารพื้นฐานในเนื้อเยื่อตามอวัยวะที่สำคัญต่างๆ เช่น ไกลโคไลปิด เป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่มีบทบาทสำคัญในร่างกายหลายชนิด เช่น ไกลโคโปรตีน เป็นต้น และเป็นคลังอาหารและพลังงาน เช่น ไกลโคเจน แป้ง เป็นต้น คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงาน 3.5 – 4.0 แคลอรี่ รวมถึงเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก ทำให้มีการศึกษาถึงการทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรต โดยการลดโปรตีนในสูตรอาหารแล้วเพิ่มคาร์โบไฮเดรตเข้าไป โดยทั่วไปแล้วทางด้านโภชนาการอาหารปลา ถือว่าแป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลามากกว่าน้ำตาล เนื่องจากแป้งเป็นสารโมเลกุลใหญ่เมื่อถูกย่อยก็จะได้เป็นสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ได้แก่ เด็กตริน มัลโตส และกลูโคส ตามลำดับ แล้วกลูโคสก็จะถูกดูดซึมผ่านผนังท่อทางเดินอาหารเข้าไปอย่างช้าๆทำให้น้ำตาลในเลือดไม่สูง จึงทำให้เกิดการเผาผลาญพลังงานได้มาก ในปัจจุบันพอจะประมาณได้ว่าปริมาณแป้งที่มีได้ในสูตรอาหารปลากินพืช ปลากินพืช และเนื้อ และปลากินเนื้อควรอยู่ในช่วงประมาณ 40-50%, 30-40% และ10-20% ตามลำดับ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงออกแบบการทดลองเป็นแบบ completely randomized design involved factorials โดยศึกษาระดับโปรตีน 3 ระดับ คือ 20, 28 และ36% ไขมัน 2 ระดับ คือ 10% และ15% คาร์โบไฮเดรต 3 ระดับ คือ 25, 30 และ35% เพื่อพัฒนาสูตรอาหารที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่เหมาะสมต่อการรอด และการเติบโตของหอยหวาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. สถานที่วิจัย

หน่วยปฏิบัติการวิจัย และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มเพาะ และเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์ แบบครบวงจร สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดเพชรบุรี

3.2. การวางแผนการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ออกแบบการทดลองเป็น completely randomized design involved factorials ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบร่วมของอาหารที่มีโปรตีน 3 ระดับ คือ 20%, 28% และ 36% ไขมัน 2 ระดับ คือ 10% และ15% และคาร์โบไฮเดรต 3 ระดับ คือ 25%, 30% และ35% โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 18 ชุดการทดลองชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ เพื่อหาโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมที่สามารถให้อัตราการเจริญเติบโต และการรอดของหอยหวานที่ดีที่สุด

3.3. การเตรียมบ่อเลี้ยง

1. **ระบบบ่อเลี้ยง** เป็นระบบกึ่งปิด (semi close system) โดยใช้ระบบน้ำทะเลแบบหมุนเวียน ซึ่งมีอัตราการหมุนเวียนน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง มีการให้อากาศ อย่างเพียงพอตลอดเวลา และมีระบบกรอง ทำการเลี้ยงในกระบะยาว 50 เซนติเมตร x สูง 15 เซนติเมตร x กว้าง 30 เซนติเมตรแต่ละกระบะบรรจุน้ำ 30 ลิตร น้ำที่ใช้เป็นน้ำทะเลสดที่ความเค็มประมาณ 30 พีพีที และพื้นกระบะใส่ทรายปนเศษเปลือกหอยหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ติดอวนกันหอยปีนที่บริเวณตอนบนของกระบะ ดังรูปที่ 1 และ2

รูปที่ 1. กระบะที่ใช้เลี้ยง

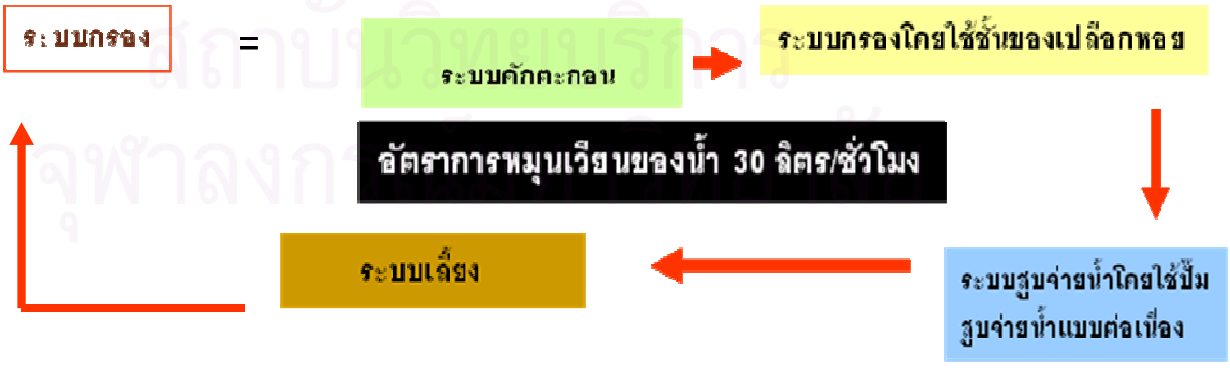
a. b. c.

รูปที่ 2. **ระบบเลี้ยงแบบระบบปิดโดยมีระบบน้ำแบบหมุนเวียน a, b ระบบเลี้ยง c ระบบกรอง**

2. **ระบบกรอง** ใช้ถังไฟเบอร์กลาส ลักษณะก้นแบน ขนาดความจุ 350 ลิตร จำนวน 2 ถัง ถังใบแรกเป็นระบบดักตะกอนประกอบด้วยถุงตาข่ายพลาสติกที่ใส่ bio ball ไว้ภายใน และถังใบที่สองเป็นระบบกรองด้วยเปลือกหอยนางรม น้ำที่บำบัดแล้วจะถูกส่งไปยังถังใบที่ 3 ซึ่งมีปั๊มสูบน้ำขนาดแรงสูบ 2,600 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อสูบน้ำเข้าสู่ระบบเลี้ยง และมีการให้อากาศ อย่างเพียงพอตลอดเวลาทั้ง 3 ถัง ดังแสดงในรูปที่ 3 และ4

a. b. c.

รูปที่ 3. **ระบบกรอง a. ระบบดักตะกอนโดยใช้ถุงตาข่ายพลาสติกที่ภายในมี** bio ball **b. ระบบกรองโดยใช้เปลือกหอยนางรม c. ระบบสูบจ่ายน้ำโดยใช้ปั๊ม**



รูปที่ 4. **แผนผังของระบบบ่อเลี้ยงหอยหวาน**

3.4. การทดสอบความคงสภาพของ binder, การเตรียมอาหารทดลอง และการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

3.4.1. การทดสอบความคงสภาพของ binder (gluten, polymethylolcarbamide (PMC),∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC))

1. นำอาหารที่มีส่วนประกอบดังตารางที่1 (โปรตีน 36.00% ไขมัน 12.66% คาร์โบไฮเดรต 27.31%) ทั้งหมดจำนวน 10 กรัม มาผสมกับ binder แต่ละชนิด ได้แก่ gluten, polymethylolcarbamide (PMC), ∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC) ที่ความเข้มข้น 3% และเติมน้ำลงไป 50% ผสม และคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน
2. นำอาหารที่มีส่วนประกอบดังตารางที่1 (โปรตีน 36.00% ไขมัน 12.66% คาร์โบไฮเดรต 27.31%) ทั้งหมดจำนวน 10 กรัม มาผสมกับ binder แต่ละชนิด ได้แก่ gluten, polymethylolcarbamide (PMC), ∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC) ที่ความเข้มข้น 5 % และเติมน้ำลงไป 50% ผสม และคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน
3. นำอาหารในข้อ1. และข้อ2. มาปั้นให้มีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5. ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 3 ชั่วโมง
4. นำบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรมาเติมน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ให้มีปริมาตร 400 มิลลิลิตรจำนวน 8 ใบ (สำหรับ binder ที่ความเข้มข้น 3% และ5% อย่างละ 4ใบ)
5. นำก้อนอาหารที่อัด และทิ้งไว้จนแห้งในข้อ3. มาใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ในข้อ4. สังเกตลักษณะการคงสภาพของก้อนอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และ60 นาที เปรียบเทียบความคงสภาพของ binder แต่ละชนิดที่ผสมลงในอาหารระหว่างความเข้มข้น 3% และ 5%

ตารางที่1. ส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ทดสอบความคงสภาพของ binder

อาหารที่มีโปรตีน 36.00% ไขมัน 12.66 % คาร์โบไฮเดรต 27.31 %	
ส่วนประกอบ	**เปอร์เซ็นต์**
ปลาป่น	30.00
กุ้งป่น	5.00
กากถั่วเหลือง	30.00
น้ำมันทูน่า	10.00
แป้งสาลี	20.00
รวม	95.00

รูปที่ 5. อาหารที่ใช้ทดลอง binder ซึ่งมีลักษณะทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร

3.4.2. การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอาหาร ได้แก่ ใช้ปลาป่น กุ้งป่น และกากถั่วเหลือง ซึ่งมีระดับโปรตีน 60%, 46.7% และ 44% ตามลำดับ เป็นแหล่งโปรตีน ใช้น้ำมันปลาทูน่าเป็นแหล่งไขมัน และใช้แป้งสาลีเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ใช้วิตามินรวม และแร่ธาตุรวมเป็นสารปริมาณน้อย โดยอาหารทั้งหมดใช้ polymethylolcarbamide (PMC) เป็นสารประสานอาหาร (binder) (ประยุกต์จากผลการทดสอบ binder) โดยส่วนประกอบของชุดอาหารทดลอง และองค์ประกอบคุณค่าทางอาหารของอาหารแต่ละสูตรแสดงในตารางที่ 2 ทำการผลิตอาหาร ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลโดย

1. นำวัตถุดิบชั่งตามสัดส่วนตารางที่ 2 ผสม และคลุกเคล้าส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้ากัน
2. ผสมน้ำในอัตราส่วนที่ทำให้เกิดความเหนียว (ประมาณ 50%)
3. นำไปผ่านเครื่องบดอาหารแบบมินเซอร์ แล้วจึงเก็บใส่กล่องพลาสติกไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงต่อไป

3.4.3. **การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร**

นำตัวอย่างอาหารทุกชุดการทดลองมาบดให้ละเอียด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า ไฟเบอร์ และความชื้น ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล โดยวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

คือ การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน, การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน, การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น, การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย, การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 1995 ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตคำนวณได้จาก

% คาร์โบไฮเดรต = 100 - (โปรตีน+ ไขมัน+ เถ้า + ไฟเบอร์+ ความชื้น)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2. แสดงส่วนประกอบของอาหารที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์) และคุณค่าทางอาหาร (เปอร์เซ็นต์)

ส่วนประกอบ	ชุดอาหาร																	
	โปรตีน/ ไขมัน/ คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ในอาหาร)																	
	20/10/25	20/10/30	20/10/35	20/15/25	20/15/30	20/15/35	28/10/25	28/10/30	28/10/35	28/15/25	28/15/30	28/15/35	36/10/25	36/10/30	36/10/35	36/15/25	36/15/30	36/15/35
ปลาป่น	15.69	14.97	14.25	15.69	14.97	14.25	23.79	23.06	22.34	23.79	23.06	22.02	31.88	30.35	28.13	31.20	28.94	26.89
กุ้งป่น	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
กากถั่วเหลือง	15.69	14.97	14.25	15.69	14.97	14.25	23.79	23.06	22.34	23.79	23.06	22.02	31.88	30.35	28.13	31.20	28.94	26.89
แป้งสาลี	24.08	31.76	38.72	24.80	31.76	38.72	20.95	27.91	34.86	20.95	27.91	34.86	17.09	23.42	28.67	16.73	22.34	27.40
น้ำมันทูน่า	8.50	8.49	8.48	13.50	13.49	13.48	7.90	7.89	7.89	12.90	12.89	12.71	7.30	7.11	6.74	12.04	11.42	10.86
วิตามินและแร่ธาตุรวม	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
$Ca_3(PO_4)_2$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Polymethylol carbamide (PMC)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
องค์ประกอบคุณค่าทางอาหาร																		
โปรตีน	20.73	20.10	20.87	21.50	20.80	21.60	28.02	28.88	28.80	29.25	28.66	28.91	37.77	37.21	36.00	36.85	36.97	36.45
ไขมัน	10.50	11.25	10.90	16.04	15.76	15.83	11.18	10.75	10.48	15.57	16.04	15.14	10.59	11.11	10.01	16.82	15.00	15.06
คาร์โบไฮเดรต	27.42	32.74	37.45	26.77	32.76	37.66	27.14	32.01	37.79	26.44	31.79	37.49	27.88	32.44	35.40	27.86	30.60	35.00
ความชื้น	7.23	7.36	8.44	7.37	7.59	7.09	8.19	8.84	9.40	8.44	8.25	8.63	9.87	9.50	8.72	9.46	8.77	6.54
เถ้า	7.12	7.05	6.67	6.78	6.98	6.73	8.24	9.41	9.30	9.30	9.14	9.83	9.94	9.74	9.87	9.01	8.66	7.00

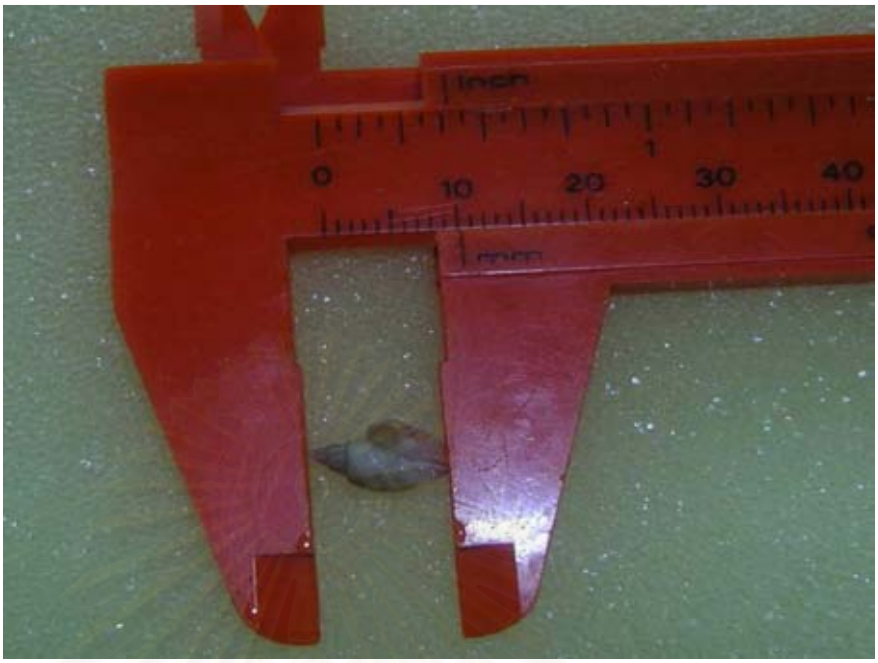
3.5. สัตว์ทดลอง และการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลอง

ลูกพันธุ์หอยหวานจากจังหวัดเพชรบุรีที่มีขนาดความยาวเปลือกประมาณ 0.7-1.0 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 0.12 กรัม จำนวน 1,200 ตัว อายุประมาณ 1 เดือน

1. แบ่งหอยหวานออกตามชุดการทดลอง (18 ชุดการทดลอง) ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ โดยเลี้ยงในกระบะยาว 50 เซนติเมตร x สูง 15 เซนติเมตร x กว้าง 30 เซนติเมตร กระบะละ 30 ตัว ที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อตารางเมตร รวมทั้งหมด 36 กระบะ ทำการสุ่มชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวเปลือกด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ กระบะละ 15 ตัว ดังรูปที่ 6
2. ให้หอยอดอาหารเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นจึงให้อาหารโดยนำอาหารใส่ลงในเปลือกหอย shell (เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารที่แตกตัวแล้วลงมาปนเปื้อนในพื้นทราย) แล้วนำไปวางในกระบะเลี้ยง ดังรูปที่ 7 ด้วยอัตราการให้อาหาร 6% ต่อน้ำหนักตัวของหอย (Patterson et al., 1995) ให้ 1 ครั้งต่อวัน โดยให้กินจนอิ่ม แล้วทำการเก็บเศษอาหารที่เหลือ
3. ทำการเปลี่ยนน้ำในระบบเลี้ยง และระบบกรอง 100 % รวมทั้งทำความสะอาดทรายโดยเกลี่ยทรายทุกสัปดาห์ และเปลี่ยนทรายทุกๆเดือน
4. บันทึกการเติบโต (ความยาวของเปลือก และน้ำหนัก) ทุกๆ 30 วัน โดยทำการสุ่มวัดขนาดหอย กระบะละ 30 ตัว (เพื่อทราบจำนวนตัวทั้งหมดที่เหลืออยู่จึงสุ่มวัดขนาดหอยทั้งหมด) สังเกต และบันทึกการตายทุกวัน
5. ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกๆสัปดาห์ (ไนไตร์ท แอมโมเนีย อัลคาไลน์ ความเค็ม อุณหภูมิ พี-เอช ค่าการละลายออกซิเจน) โดยส่งตรวจที่ศูนย์วิจัย และทดสอบพันธุ์สัตว์น้ำ จังหวัดเพชรบุรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6. **การวัดความยาวเปลือกของหอยหวาน**

รูปที่ 7. **การกินอาหารของหอยหวาน**

3.6. การประเมินผล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.6.1 การประเมินผล

ทำการประเมินผลการเลี้ยงจากการเติบโต โดยใช้ค่าความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักหอยที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักของหอย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อหรืออัตราการแลกเนื้อ (food conversion ratio หรือ FCR) และประเมินผลอัตราการรอด (survival rate)

ค่าที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้ (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545)

ความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตรต่อตัว)

= ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

น้ำหนักหอยที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)

= น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก (เซนติเมตรต่อเดือน)

= (ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความยาวเปลือกเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง) / ระยะเวลาในการเลี้ยง (เดือน)

อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักหอย (กรัมต่อเดือน)

= (น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง) / ระยะเวลาในการเลี้ยง (เดือน)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)

= ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม) / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)

= (จำนวนสุดท้าย (ตัว) x 100) / จำนวนเริ่มต้น (ตัว)

3.6.2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ และประเมินผลการทดลองโดยนำข้อมูล ได้แก่ ความยาวเปลือก น้ำหนัก อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด ของแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบหาปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยงหอยหวาน ด้วยการวิเคราะห์ด้วย วิธี analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

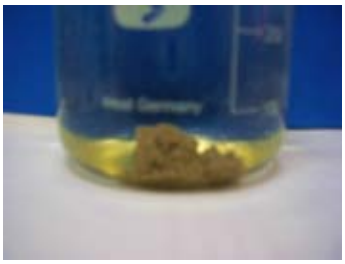
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

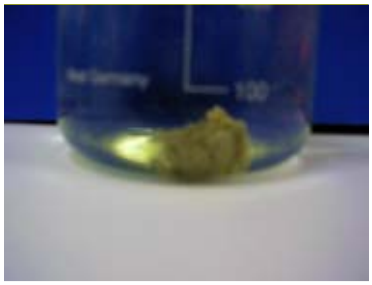
4.1. การทดสอบความคงสภาพของ binder (gluten, polymethylolcarbamide (PMC), ∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC))

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำอาหารที่มีความเข้มข้นของ binder 3% และ 5% มาทดสอบความคงสภาพโดยวางอาหารลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ปริมาตร 400 มิลลิลิตร พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และ60 นาที polymethylolcarbamide (PMC) สามารถคงสภาพได้มากที่สุดโดยไม่มีลักษณะของการแตกของก้อนอาหาร และไม่มีลักษณะของการยุ้ยของเนื้ออาหารในทั้งสองความเข้มข้น (3 และ5%) รองลงมาคือ carboxymethylcellulose (CMC) โดยไม่มีลักษณะของการแตกของก้อนอาหาร แต่พบว่ามีลักษณะของการยุ้ยของเนื้ออาหารในทั้งสองความเข้มข้น (3 และ5%) สำหรับในส่วนของ gluten และ∝ - starch พบว่าไม่สามารถคงสภาพได้ โดยมีลักษณะของการแตกของก้อนอาหารและมีลักษณะของการยุ้ยของเนื้ออาหารเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และ60 นาที ในทั้งสองความเข้มข้น (3 และ5%) ดังรูปที่ 8 และ9 ดังนั้นจึงเลือกใช้ polymethylolcarbamide (PMC) ความเข้มข้น 3% ผสมลงในอาหารสำหรับใช้ในการเลี้ยงหอยหวานที่มีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

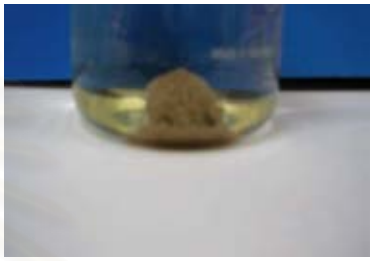


Gluten 3% 30 นาที



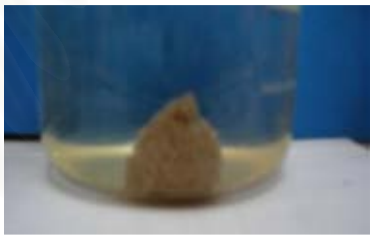
Gluten 5 % 30 นาที

∝ - starch 3% 30 นาที



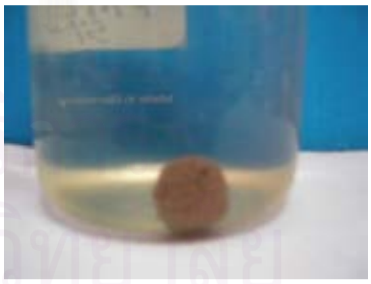
∝ - starch 5% 30 นาที

CMC 3% 30 นาที



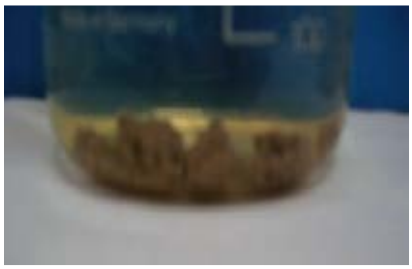
CMC 5% 30 นาที

PMC 3% 30 นาที

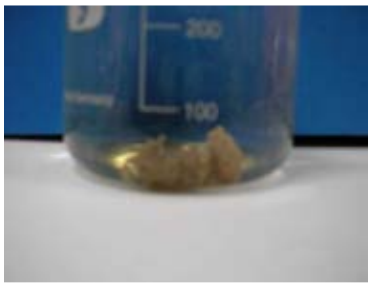


PMC 5% 30 นาที

รูปที่ 8. การเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่มีส่วนผสมของ binder (gluten, ∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC) , polymethylolcarbamide (PMC)) **ที่ความเข้มข้น 3% และความเข้มข้น 5% ที่เวลา 30 นาที**



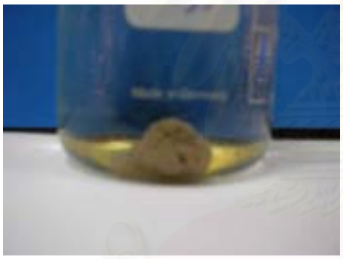
Gluten 3% 60 นาที



Gluten 5% 60 นาที

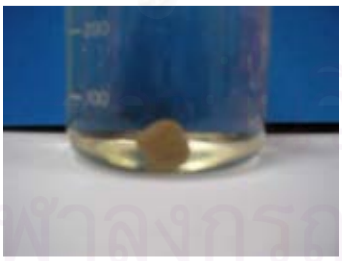
∝ - starch 3% 60 นาที

∝ - starch 5% 60 นาที



CMC 3% 60 นาที

CMC 5% 60 นาที



PMC 3% 60 นาที

PMC 5% 60 นาที

รูปที่ 9. **การเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่มีส่วนผสมของ** binder (gluten, ∝ - starch, sodium carboxymethylcellulose (CMC) , polymethylolcarbamide (PMC)) **ที่ความเข้มข้น** 3% **และความเข้มข้น** 5% **ที่เวลา** 60 **นาที**

4.2. ผลของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ของหอยหวาน

<u>การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน</u>

จากการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย ค่าการเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน ของชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 13 ซึ่งมีระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 36/10/25 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ให้ค่าการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย ค่าการเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานสูงสุด คือ 2.31±0.01 เซนติเมตร 1.59±0.01 เซนติเมตร และ0.27±0.01 เซนติเมตรต่อเดือน ตามลำดับ เมื่อทำการเลี้ยงหอยหวานในระยะเวลา 6 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 3, 4 และรูปที่ 10, 11

ตารางที่ 3. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลองระยะเวลา 6 เดือน

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	ระยะเวลาเลี้ยง (เดือน)						
	0	1	2	3	4	5	6
1 (20/10/25)	0.72± 0.16	1.08^{abc} ± 0.03	1.26^{bc} ± 0.04	1.33^{c} ± 0.08	1.42^{b} ±0.11	1.57^{c} ± 0.14	1.58^{b} ± 0.13
2 (20/10/30)	0.72± 0.16	1.08^{cde} ±0.00	1.24^{abc} ± 0.05	1.31^{bc} ± 0.06	1.40^{ab} ± 0.08	1.52^{c} ± 0.08	1.54^{b} ± 0.05
3 (20/10/35)	0.72± 0.16	1.11^{abcd} ± 0.01	1.24^{abc} ± 0.01	1.28^{abc} ± 0.01	1.37^{ab} ± 0.05	1.46^{bc} ± 0.08	1.47^{ab} ± 0.06
4 (20/15/25)	0.72± 0.16	1.14^{a} ± 0.01	1.27^{c} ± 0.10	1.28^{abc} ± 0.11	1.33^{b} ± 0.08	1.34^{a} ± 0.06	1.37^{a} ± 0.06
5 (20/15/30)	0.72± 0.16	1.12^{ab} ± 0.01	1.21^{ab} ± 0.01	1.25^{ab} ± 0.01	1.39^{b} ± 0.06	1.54^{c} ± 0.02	1.58^{b} ± 0.05
6 (20/15/35)	0.72± 0.16	1.14^{bcd} ± 0.04	1.19^{a} ± 0.01	1.22^{a} ± 0.01	1.28^{a} ± 0.02	1.39^{ab} ± 0.13	1.40^{a} ± 0.12
7 (28/10/25)	0.72± 0.16	1.35^{def} ± 0.04	1.49^{g} ± 0.05	1.75^{gh} ± 0.16	2.02^{g} ±0.16	2.24^{h} ± 0.01	2.27^{f} ± 0.01
8 (28/10/30)	0.72± 0.16	1.34^{def} ± 0.00	1.49^{g} ± 0.01	1.70^{fgh} ± 0.01	1.73^{cd} ± 0.01	1.84^{d} ± 0.05	1.86^{c} ± 0.06
9 (28/10/35)	0.72± 0.16	1.29^{def} ± 0.00	1.45^{de} ± 0.08	1.56^{e} ± 0.02	1.76^{d} ± 0.06	1.90^{de} ± 0.11	1.93^{de} ± 0.10
10 (28/15/25)	0.72± 0.16	1.29^{bcde} ± 0.01	1.43^{fg} ± 0.08	1.69^{fg} ± 0.02	1.79^{de} ± 0.19	1.98^{ef} ± 0.25	2.01^{e} ± 0.25
11 (28/15/30)	0.72± 0.16	1.28^{de} ± 0.01	1.41^{de} ± 0.04	1.53^{e} ± 0.07	1.65^{c} ± 0.01	1.85^{d} ± 0.15	1.89^{cd} ± 0.20
12 (28/15/35)	0.72± 0.16	1.29^{efg} ± 0.01	1.31^{d} ± 0.04	1.46^{d} ± 0.03	1.65^{c} ± 0.13	1.80^{d} ± 0.04	1.83^{c} ± 0.01
13 (36/10/25)	0.72± 0.16	1.29^{i} ± 0.01	1.42^{fg} ± 0.02	1.68^{fg} ± 0.00	2.00^{g} ± 0.11	2.23^{gh} ± 0.08	2.31^{f} ± 0.01
14 (36/10/30)	0.72± 0.16	1.35^{hi} ± 0.03	1.45^{fg} ± 0.01	1.70^{fgh} ± 0.01	2.05^{g} ± 0.04	2.18^{h} ± 0.05	2.29^{f} ± 0.01
15 (36/10/35)	0.72± 0.16	1.35^{hi} ± 0.01	1.50^{g} ± 0.01	1.78^{h} ± 0.01	2.08^{g} ± 0.06	2.19^{h} ± 0.06	2.21^{f} ± 0.05
16 (36/15/25)	0.72± 0.16	1.37^{gh} ± 0.02	1.48^{g} ± 0.01	1.71^{fgh} ± 0.01	2.02^{g} ± 0.07	2.20^{h} ± 0.04	2.24^{f} ± 0.01
17 (36/15/30)	0.72± 0.16	1.39^{gh} ± 0.01	1.42^{ef} ± 0.01	1.64^{f} ± 0.06	1.91^{f} ± 0.02	2.07^{fg} ± 0.19	2.09^{e} ± 0.16
18 (36/15/35)	0.72± 0.16	1.33^{fgh} ± 0.01	1.38^{de} ± 0.03	1.55^{e} ± 0.00	1.84^{ef} ± 0.03	2.01^{ef} ± 0.16	2.09^{e} ± 0.05

*(%P/L/C) = โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)

a, b ..... ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

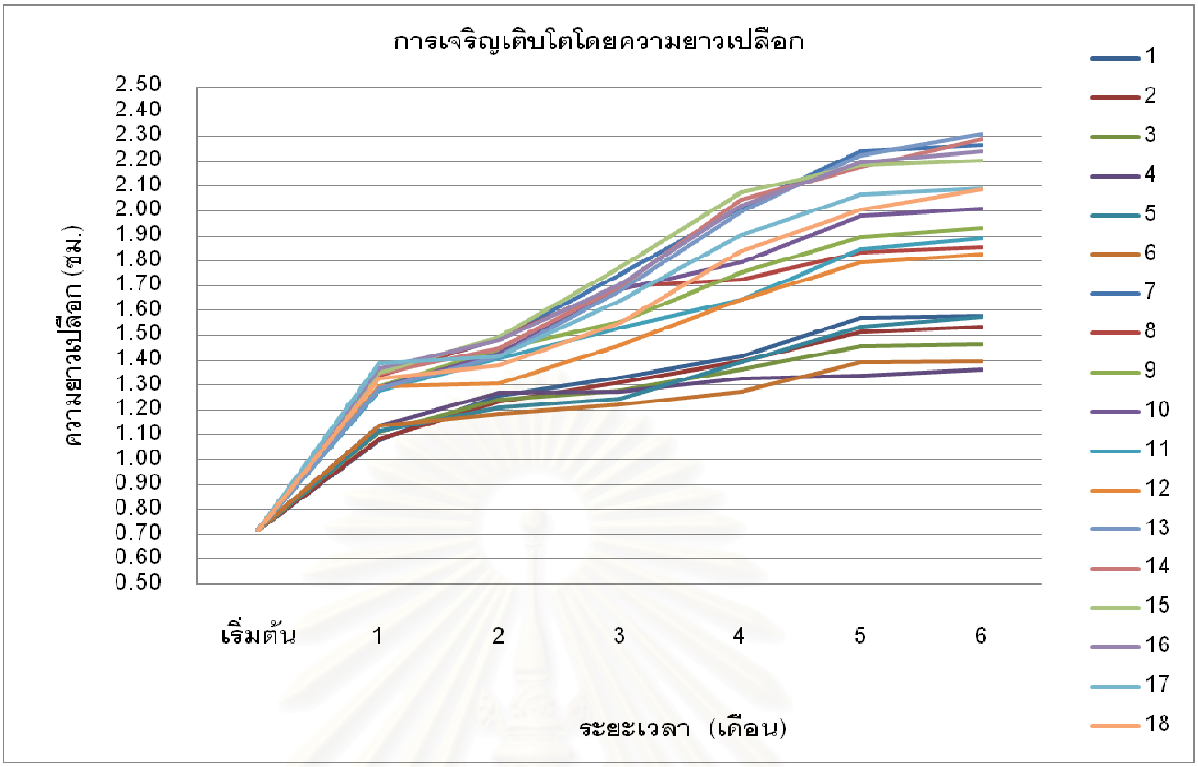
ตารางที่ 4. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย การเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความยาวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	อัตราการเจริญเติบโต (เซนติเมตรต่อเดือน)
1 (20/10/25)	0.72±0.16	1.58^{b}±0.13	0.86^{a}±0.13	0.14^{a}±0.02
2 (20/10/30)	0.72±0.16	1.54^{b}±0.05	0.82^{a}±0.05	0.14^{a}±0.01
3 (20/10/35)	0.72±0.16	1.47^{ab}±0.06	0.75^{a}±0.06	0.12^{a}±0.01
4 (20/15/25)	0.72±0.16	1.37^{a}±0.06	0.65^{a}±0.06	0.11^{a}±0.01
5 (20/15/30)	0.72±0.16	1.58^{b}±0.05	0.86^{a}±0.04	0.14^{a}±0.01
6 (20/15/35)	0.72±0.16	1.40^{a}±0.12	0.68^{a}±0.12	0.11^{a}±0.02
7 (28/10/25)	0.72±0.16	2.27^{f}±0.01	1.55^{e}±0.01	0.26^{de}±0.00
8 (28/10/30)	0.72±0.16	1.86^{c}±0.06	1.14^{bc}±0.06	0.19^{bc}±0.01
9 (28/10/35)	0.72±0.16	1.93^{de}±0.10	1.21^{bc}±0.10	0.20^{bc}±0.01
10 (28/15/25)	0.72±0.16	2.01^{e}±0.25	0.20^{bc}±0.25	0.22^{bcd}±0.04
11 (28/15/30)	0.72±0.16	1.89^{cd}±0.20	1.17^{bc}±0.19	0.20^{bc}±0.03
12 (28/15/35)	0.72±0.16	1.83^{c}±0.01	1.11^{b}±0.01	0.18^{b}±0.00
13 (36/10/25)	0.72±0.16	2.31^{f}±0.01	1.59^{e} ±0.01	0.27^{e}±0.01
14 (36/10/30)	0.72±0.16	2.29^{f}±0.01	1.57^{e}±0.06	0.26^{e}±0.01
15 (36/10/35)	0.72±0.16	2.21^{f}±0.05	1.49^{de}±0.05	0.25^{d}±0.01
16 (36/15/25)	0.72±0.16	2.24^{f}±0.01	1.52^{de}±0.01	0.25^{de}±0.02
17 (36/15/30)	0.72±0.16	2.09^{e}±0.16	1.37^{cde}±0.16	0.23^{cde}±0.02
18 (36/15/35)	0.72±0.16	2.09^{e}±0.05	1.37^{cde}±0.04	0.23^{bcde}±0.01

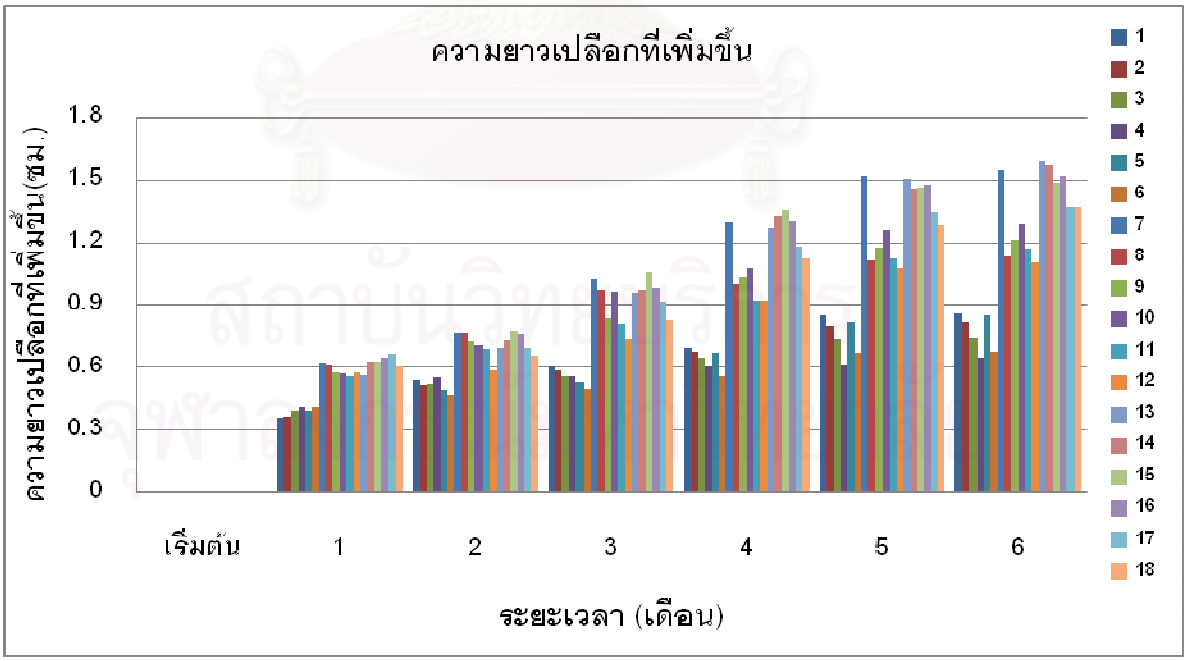
*(%P/L/C) = โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)

a, b ..... ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง



รูปที่ 11. ความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง

<u>การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยวาน</u>

จากการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวาน ของชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ 13 ซึ่งมีระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 36/10/25 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ให้ค่าเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักสูงสุดของหอยหวาน คือ 2.27±0.06 กรัม 2.15±0.06 กรัม และ0.36±0.01 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ เมื่อทำการเลี้ยงหอยหวานในระยะเวลา 6 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 5, 6 และรูปที่ 12, 13

ตารางที่ 5. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง ระยะเวลา 6 เดือน

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	ระยะเวลาเลี้ยง (เดือน)						
	0	1	2	3	4	5	6
1 (20/10/25)	0.12± 0.17	0.26^{abc}± 0.00	0.39^{abc}± 0.08	0.43^{ab}± 0.08	0.59^{b}± 0.15	0.60^{a}± 0.14	0.72^{bc}± 0.30
2 (20/10/30)	0.12± 0.17	0.27^{bcdf} ±0.04	0.37^{abc} ±0.05	0.44^{ab}± 0.04	0.54^{ab}± 0.05	0.55^{a}± 0.04	0.63^{abc}± 0.08
3 (20/10/35)	0.12± 0.17	0.28^{ab}± 0.00	0.40^{abde}± 0.04	0.43^{ab}± 0.02	0.53^{ab}± 0.06	0.54^{a}± 0.06	0.56^{abc}± 0.06
4 (20/15/25)	0.12± 0.17	0.28^{a}± 0.00	0.37^{ab}± 0.06	0.38^{a}± 0.06	0.44^{ab}± 0.08	0.46^{a}± 0.08	0.50^{ab}± 0.11
5 (20/15/30)	0.12± 0.17	0.27^{ab}± 0.00	0.33^{a}± 0.01	0.39^{a}± 0.03	0.54^{ab}± 0.08	0.64^{a}± 0.07	0.74^{c}± 0.07
6 (20/15/35)	0.12± 0.17	0.25^{bcef}± 0.01	0.33^{a}± 0.01	0.36^{a}± 0.00	0.39^{a}± 0.02	0.44^{a}± 0.06	0.47^{a}± 0.07
7 (28/10/25)	0.12± 0.17	0.32^{bcef}± 0.01	0.55^{f}± 0.01	0.94^{fg}± 0.13	1.54^{g}± 0.19	1.67^{fg}± 0.16	1.97^{gh}± 0.07
8 (28/10/30)	0.12± 0.17	0.34^{bcef}± 0.01	0.54^{f}± 0.01	0.86^{ef}± 0.01	1.06^{de}± 0.04	1.13^{bc}± 0.01	1.15^{de}± 0.01
9 (28/10/35)	0.12± 0.17	0.34^{bce}± 0.01	0.47^{e}± 0.01	0.65^{d}± 0.11	1.03^{cde}± 0.11	1.16^{c}± 0.11	1.25^{de}± 0.12
10 (28/15/25)	0.12± 0.17	0.36^{cef}± 0.02	0.53^{f}± 0.01	0.83^{e}± 0.04	1.22^{f}± 0.36	1.46^{de}± 0.33	1.59^{e}± 0.35
11 (28/15/30)	0.12± 0.17	0.35^{abce}± 0.01	0.44^{cde}± 0.00	0.60^{cd}± 0.06	0.90^{cd}± 0.12	1.10^{bc}± 0.08	1.36^{f}± 0.22
12 (28/15/35)	0.12± 0.17	0.34^{cef}± 0.02	0.40^{abcd}± 0.10	0.53^{bc}± 0.08	0.87^{c}± 0.09	0.95^{b}± 0.01	1.07^{e}± 0.12
13 (36/10/25)	0.12± 0.17	0.37^{f}± 0.01	0.55^{f}± 0.01	0.88^{efg}± 0.01	1.46^{g}± 0.12	1.93^{h}± 0.07	2.27^{h}± 0.06
14 (36/10/30)	0.12± 0.17	0.36^{bcef}± 0.03	0.55^{f}± 0.06	0.89^{efg}± 0.05	1.51^{g}± 0.09	1.90^{h}± 0.06	2.01^{h}± 0.05
15 (36/10/35)	0.12± 0.17	0.38^{ef}± 0.01	0.56^{f}± 0.04	0.97^{g}± 0.06	1.55^{g}± 0.11	1.81^{gh}± 0.18	1.96^{gh}± 0.18
16 (36/15/25)	0.12± 0.17	0.41^{ef}± 0.01	0.56^{f}± 0.05	0.85^{ef}± 0.04	1.52^{g}± 0.08	1.91^{h}± 0.04	2.17^{h}± 0.01
17 (36/15/30)	0.12± 0.17	0.39^{bcef}± 0.02	0.46^{de}± 0.00	0.71^{d}± 0.04	1.27^{f}± 0.11	1.60^{ef}± 0.06	1.77^{fg}± 0.20
18 (36/15/35)	0.12± 0.17	0.39^{bcef}± 0.01	0.42^{bcde}± 0.01	0.65^{d}± 0.01	1.14^{ef}± 0.07	1.77^{d}± 0.16	1.60^{f}±7 0.18

*(%P/L/C) = **โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)**

a, b ..... **ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ** $p \leq 0.05$

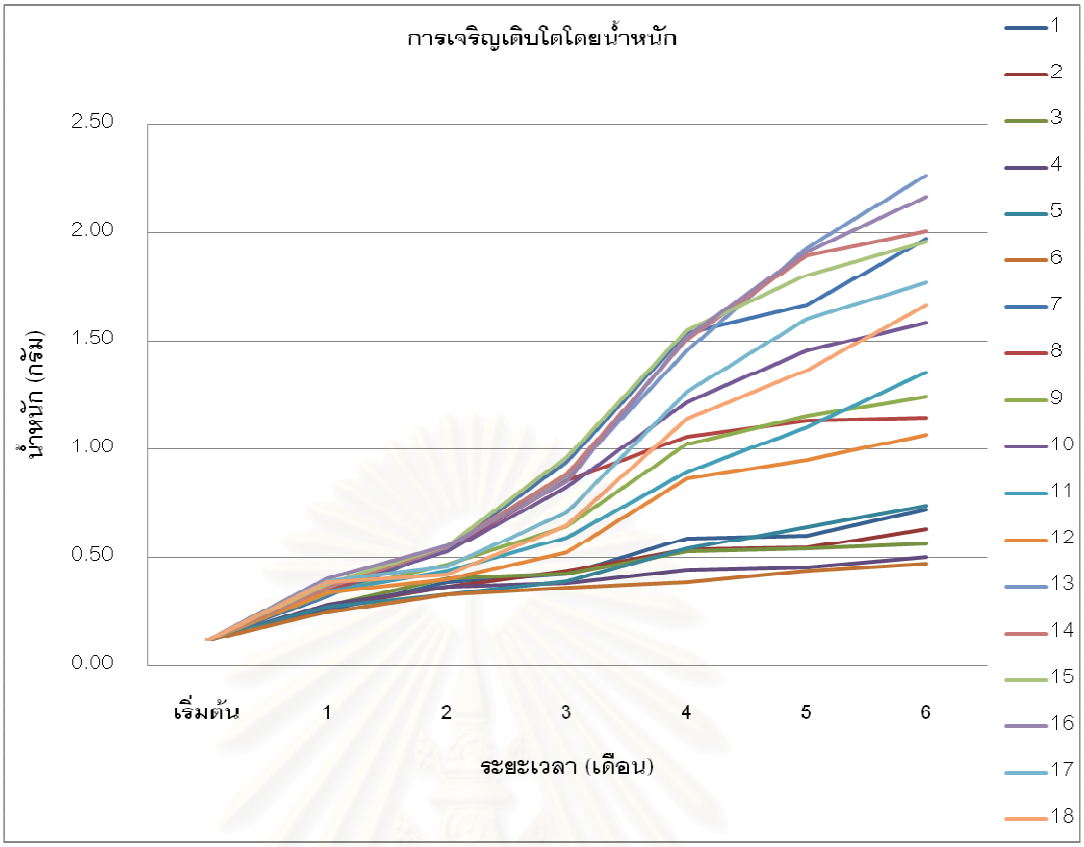
ตารางที่ 6. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อเดือน)
1 (20/10/25)	0.12±0.17	0.72^{bc}±0.30	0.60^{a}±0.29	0.10^{a}±0.05
2 (20/10/30)	0.12±0.17	0.63^{abc}±0.08	0.51^{a}±0.08	0.09^{a}±0.01
3 (20/10/35)	0.12±0.17	0.56^{abc}±0.06	0.44^{a}±0.06	0.07^{a}±0.01
4 (20/15/25)	0.12±0.17	0.50^{ab}±0.11	0.38^{a}±0.11	0.06^{a}±0.02
5 (20/15/30)	0.12±0.17	0.74^{c}±0.07	0.62^{a}±0.07	0.08^{ab}±0.01
6 (20/15/35)	0.12±0.17	0.47^{a}±0.07	0.35^{a}±0.07	0.08^{a}±0.01
7 (28/10/25)	0.12±0.17	1.97^{gh}±0.07	1.85^{g} ±0.07	0.31^{gh}±0.01
8 (28/10/30)	0.12±0.17	1.15^{de}±0.01	1.03^{c}±0.01	0.17^{c}±0.02
9 (28/10/35)	0.12±0.17	1.25^{de}±0.12	1.13^{cd}±0.12	0.19^{cd}±0.06
10 (28/15/25)	0.12±0.17	1.59^{e}±0.35	1.47^{def}±0.34	0.24^{def}±0.04
11 (28/15/30)	0.12±0.17	1.36^{f}±0.22	1.24^{cde}±0.22	0.21^{cde}±0.02
12 (28/15/35)	0.12±0.17	1.07^{e}±0.12	0.95^{bc}±0.12	0.16^{bc}±0.01
13 (36/10/25)	0.12±0.17	2.27^{h}±0.06	2.15^{h}±0.06	0.36^{h}±0.01
14 (36/10/30)	0.12±0.17	2.01^{h}±0.05	1.89^{gh}±0.05	0.31^{gh}±0.03
15 (36/10/35)	0.12±0.17	1.96^{gh}±0.18	1.84^{gh}±0.18	0.31^{gh}±0.00
16 (36/15/25)	0.12±0.17	2.17^{h}±0.01	2.05^{h}±0.01	0.34^{h}±0.01
17 (36/15/30)	0.12±0.17	1.77^{fg}±0.20	1.65^{fg}±0.20	0.28^{fg}±0.03
18 (36/15/35)	0.12±0.17	1.67^{f}±0.18	1.55^{efg}±0.18	0.26^{efg}±0.03

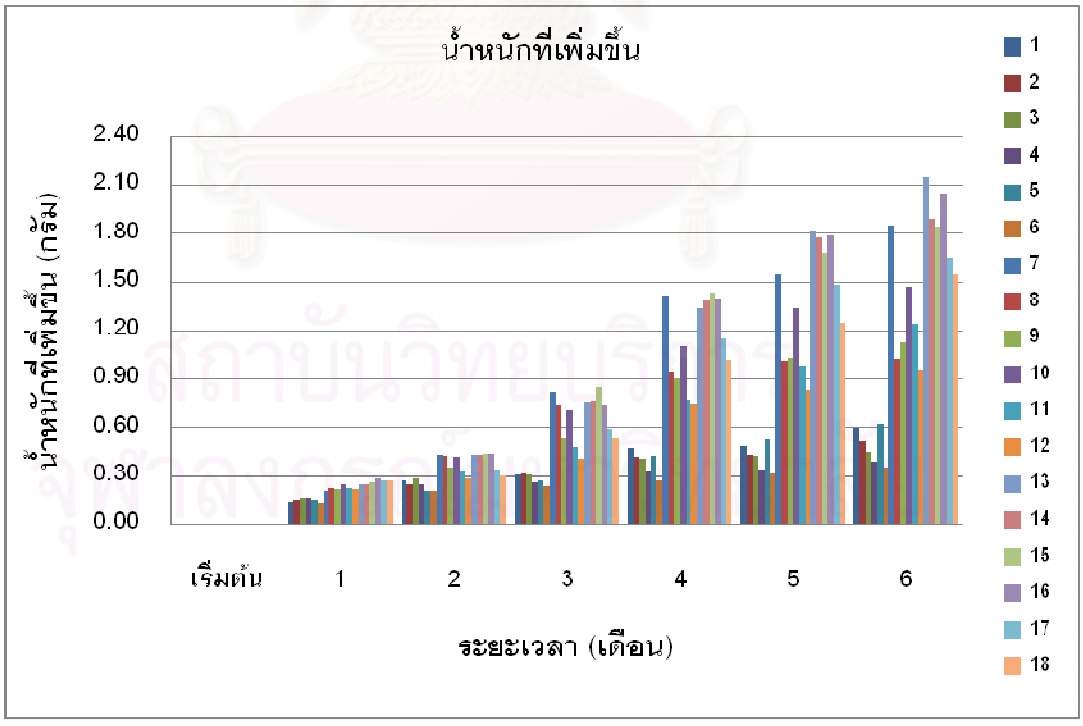
*(%P/L/C) = โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)

a, b ..... ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 12. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง



รูปที่ 13. การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลองทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวาน (Food conversion ratio **หรือ** FCR)

จากการศึกษาผลของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวาน ในแต่ละชุดอาหารทดลอง พบว่า ชุดอาหารทดลองทั้ง 18 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชุดอาหารทดลองที่ 13 คือ 36/10/25 (ระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในอาหาร) มีค่า FCR ต่ำสุด คือ 7.29±2.45 และชุดอาหารทดลองที่ 6 คือ 20/15/35 (ระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในอาหาร) มีค่า FCR สูงสุด คือ 46.30±8.66 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7. **อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง**

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	**น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)**	**ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)**	**อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ** (FCR)
1 (20/10/25)	18.07	412.50	22.83^{bc}±3.47
2 (20/10/30)	15.35	472.50	30.78^{c}±5.64
3 (20/10/35)	13.20	447.50	33.91^{cd}±3.59
4 (20/15/25)	10.37	480.00	45.31^{e}±7.05
5 (20/15/30)	18.71	482.50	25.80^{bc}±3.48
6 (20/15/35)	10.38	470.00	46.30^{de}±8.66
7 (28/10/25)	52.66	487.50	9.26^{a}±1.05
8 (28/10/30)	30.71	475.00	15.47^{ab}±1.73
9 (28/10/35)	33.76	477.50	14.14^{ab}±1.31
10 (28/15/25)	42.06	460.00	10.94^{a}±3.87
11 (28/15/30)	35.27	480.00	13.61^{ab}±4.10
12 (28/15/35)	27.92	480.00	17.19^{ab}±2.62
13 (36/10/25)	60.67	442.50	7.29^{a}±2.45
14 (36/10/30)	58.20	467.50	8.03^{a}±2.11
15 (36/10/35)	58.29	467.50	8.02^{a}±1.07
16 (36/15/25)	61.41	470.00	7.65^{a}±3.17
17 (36/15/30)	49.67	460.00	9.26^{a}±1.69
18 (36/15/35)	46.36	457.50	9.87^{a}±1.37

*(%P/L/C) = **โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)**

a, b …… **ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ** $p \leq 0.05$

หมายเหตุ FCR = **อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานคิดจากน้ำหนักเปียก (ความชื้นในอาหารประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์)**

4.3 ผลของระดับโปรตีนต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละระดับของโปรตีน โดยระดับโปรตีนที่ 36% ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานสูงสุดคือ 0.25±0.02 เซนติเมตรต่อเดือน และ0.31±0.04 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าระดับโปรตีนให้ผลของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยระดับโปรตีนที่ 36% มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานต่ำที่สุด คือ 8.26±1.44 ดังแสดงในตารางที่ 8, 9 และ10

4.4 ผลของระดับไขมันต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของระดับไขมันต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละระดับของไขมัน โดยระดับไขมันที่ 10% ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานสูงสุดคือ 0.20±0.26 เซนติเมตรต่อเดือน และ0.21±0.10 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าระดับไขมันให้ผลของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8, 9 และ10

4.5 ผลของระดับคาร์โบไฮเดรตต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของระดับคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในแต่ละระดับของคาร์โบไฮเดรต โดยระดับคาร์โบไฮเดรตที่ 25% ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานสูงสุดคือ 0.21±0.07 เซนติเมตรต่อเดือน และ0.24±0.12 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ระดับคาร์โบไฮเดรตให้ผลของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8, 9 และ10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8. การเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย การเพิ่มขึ้นโดยความยาวเปลือก และอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน ในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

		ความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความยาวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (เซนติเมตร)	อัตราการเจริญเติบโต (เซนติเมตรต่อเดือน)
ระดับโปรตีน (เปอเซ็นต์)	20	0.72±0.16	1.48^{a}±0.10	0.76^{a}±0.10	0.13^{a}±0.02
	28	0.72±0.16	1.96^{b}±0.19	1.24^{b}±0.19	0.21^{b}±0.03
	36	0.72±0.16	2.20^{c}±0.10	1.47^{c}±0.10	0.25^{c}±0.02
ระดับไขมัน (เปอเซ็นต์)	10	0.72±0.16	1.94^{b}±0.34	1.22^{b}±0.34	0.20^{b}±0.26
	15	0.72±0.16	1.83^{a}±0.32	1.11^{a}±0.32	0.19^{a}±0.05
ระดับคาร์โบไฮเดรต (เปอเซ็นต์)	25	0.72±0.16	1.96^{c}±0.39	1.24^{b}±0.39	0.21^{b}±0.07
	30	0.72±0.16	1.87^{b}±0.29	1.15^{a}±0.28	0.19^{a}±0.05
	35	0.72±0.16	1.82^{a}±0.32	1.09^{a}±0.31	0.18^{a}±0.02

a, b ..... ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 9. การเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวาน ในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

		น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อเดือน)
ระดับโปรตีน (เปอเซ็นต์)	20	0.12±0.17	0.60^{a}±0.15	0.48^{a}±0.15	0.08^{a}±0.03
	28	0.12±0.17	1.39^{b}±0.35	1.27^{b}±0.35	0.21^{b}±0.06
	36	0.12±0.17	1.97^{c}±0.24	1.85^{c}±0.24	0.31^{c}±0.04
ระดับไขมัน (เปอเซ็นต์)	10	0.12±0.17	1.39^{b}±0.65	1.27^{b}±0.65	0.21^{b}±0.10
	15	0.12±0.17	1.26^{a}±0.59	1.14^{a}±0.59	0.19^{a}±0.10
ระดับคาร์โบไฮเดรต (เปอเซ็นต์)	25	0.12±0.17	1.53^{c}±0.73	1.41^{b}±0.74	0.24^{b}±0.12
	30	0.12±0.17	1.27^{b}±0.53	1.15^{a}±0.53	0.19^{a}±0.08
	35	0.12±0.17	1.16^{a}±0.57	1.04^{a}±0.57	0.17^{a}±0.09

a, b ..... ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 10. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

		น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)
ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	20	14.34	460.83	32.13^{c}±4.70
	28	37.06	476.67	12.86^{b}±2.18
	36	55.77	460.83	8.26^{a}±1.44
ระดับไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	10	37.88	461.11	12.17±6.89
	15	33.57	471.11	14.03±8.10
ระดับคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	25	40.87	458.75	11.22±2.16
	30	34.65	472.92	13.65±1.65
	35	31.65	466.67	14.74±1.81

a, b ..... **ตัวเลขที่มีอักษรยกกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ** $p \leq 0.05$

หมายเหตุ FCR = **อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานคิดจากน้ำหนักเปียก (ความชื้นในอาหารประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์)**

4.6 อัตราการรอด

จากการศึกษาอัตราการรอดของหอยหวาน เมื่อเลี้ยงหอยหวานด้วยชุดอาหารทดลองทั้ง 18 ชุดการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p>0.05$ ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเลี้ยงหอยหวานในระยะเวลา 6 เดือน โดยมีค่าอัตราการรอดอยู่ในช่วง 93.33-100% ในทุกชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 11

4.7 ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียน

จากการวิเคราะห์ปริมาณของไนไตรท์ และแอมโมเนียของน้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียนตลอดการทดลอง ระยะเวลา 6 เดือนพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0206 และ0.0634 พีพีเอ็ม โดยไนไตรท์มีค่าสูงสุดคือ 0.0092 พีพีเอ็มในเดือนที่ 1. และแอมโมเนียมีค่าสูงสุดคือ 0.3276 พีพีเอ็มในเดือนที่ 3. และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ค่าพี-เอช อัลคาไลน์ ความเค็ม อุณหภูมิ และการละลายของออกซิเจน (DO) ของน้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.23, 99 พีพีเอ็ม, 37 พีพีที, 27.5 องศาเซลเซียส, 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 12 และรูปที่ 14 -19

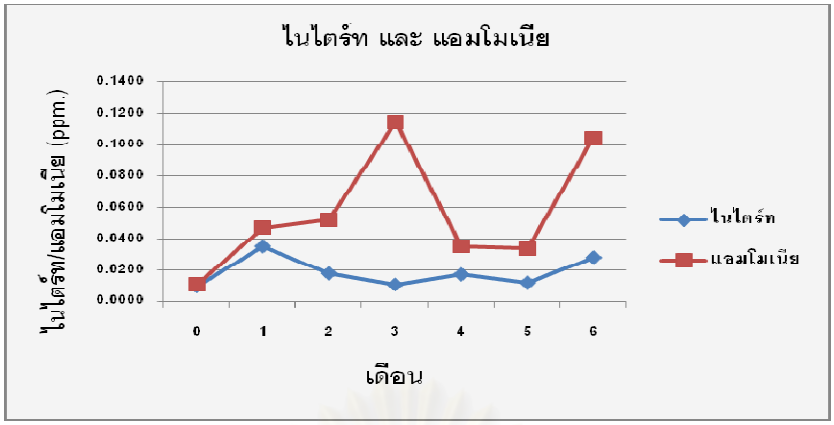
ตารางที่ 11. อัตราการรอดของหอยหวาน (เปอร์เซ็นต์) ในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดอาหารทดลอง (%P/L/C)*	ระยะเวลาเลี้ยง (เดือน)						
	0	1	2	3	4	5	6
1 (20/10/25)	100	100	100	100	100	100	100
2 (20/10/30)	100	100	100	100	100	100	100
3 (20/10/35)	100	100	100	100	100	100	100
4 (20/15/25)	100	100	100	96.67	93.33	93.33	93.33
5 (20/15/30)	100	100	100	100	100	100	100
6 (20/15/35)	100	100	100	100	100	100	100
7 (28/10/25)	100	100	96.67	95.00	95.00	95.00	95.00
8 (28/10/30)	100	100	100	100	100	100	100
9 (28/10/35)	100	100	100	100	100	100	100
10 (28/15/25)	100	100	96.67	95.00	95.00	95.00	95.00
11 (28/15/30)	100	100	96.67	95.00	95.00	95.00	95.00
12 (28/15/35)	100	100	100	100	98.33	98.33	98.33
13 (36/10/25)	100	100	100	98.33	98.33	98.33	98.33
14 (36/10/30)	100	100	100	98.33	98.33	98.33	98.33
15 (36/10/35)	100	100	100	100	100	100	100
16 (36/15/25)	100	100	100	100	100	100	100
17 (36/15/30)	100	100	100	100	100	100	100
18 (36/15/35)	100	100	100	100	100	100	100

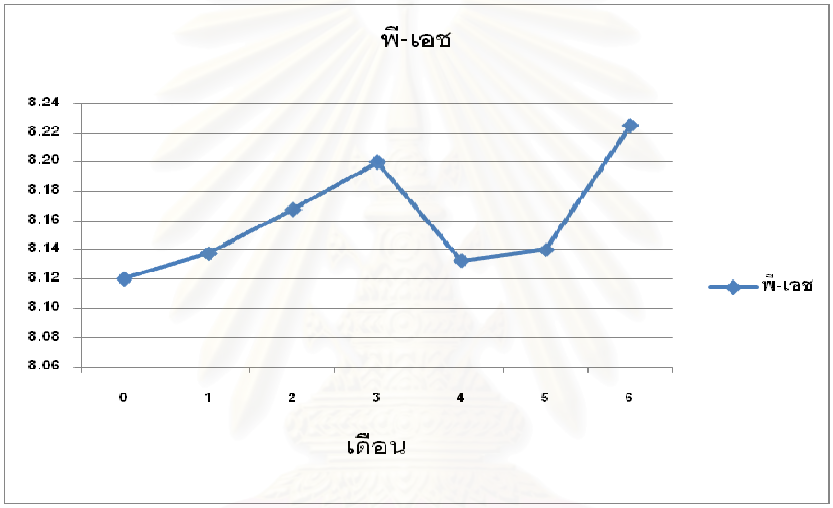
*(%P/L/C) = โปรตีน/ไขมัน/คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 12. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลในระบบน้ำแบบหมุนเวียนโดยเฉลี่ย

	เดือน						
	เริ่มต้น	1	2	3	4	5	6
ไนไตร์ทเฉลี่ย (พีพีเอ็ม)	0.0100	0.0353	0.0183	0.0112	0.0177	0.0125	0.0284
แอมโมเนียเฉลี่ย (พีพีเอ็ม)	0.0110	0.0473	0.0525	0.1149	0.0355	0.0342	0.1046
พี-เอชเฉลี่ย	8.12	8.14	8.17	8.20	8.13	8.14	8.23
อัลคาไลน์เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)	110	104	100	101	99	100	99
ความเค็มเฉลี่ย (พีพีที)	30	29	26	22	31	37	37
อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	28.0	28.1	23.3	20.0	27.6	26.5	27.5
ค่าการละลายออกซิเจนเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.3	5.0	7.9	7.3	6.8	6.3	6.5

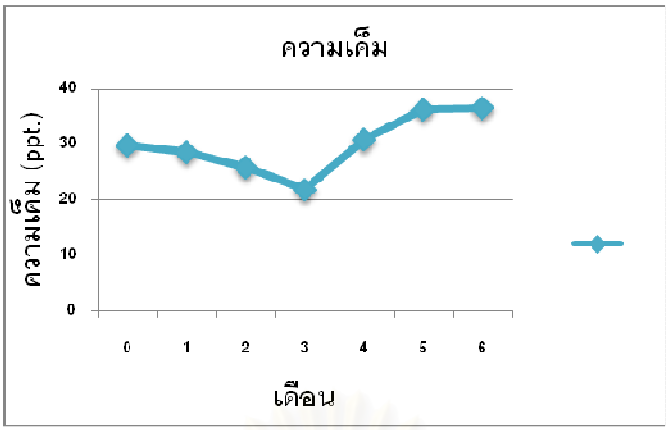


รูปที่ 14. ปริมาณไนไตร์ท และแอมโมเนียเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีเอ็ม)

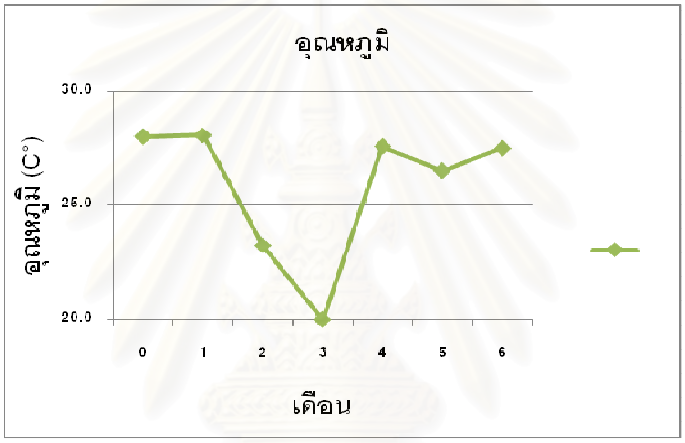


รูปที่ 15. พี-เอชเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง

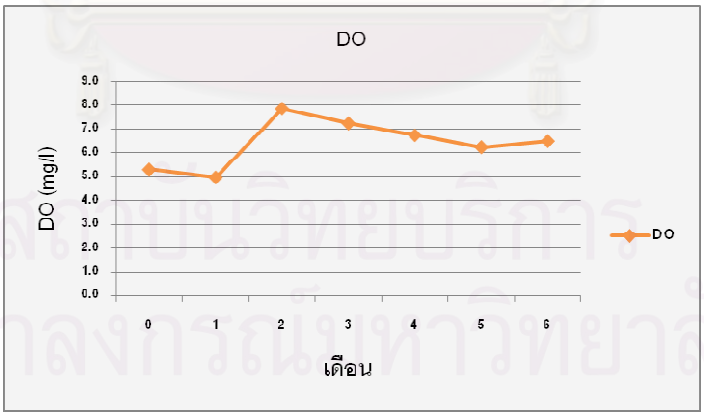
รูปที่ 16. อัลคาไลน์เฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีเอ็ม)



รูปที่ 17. ความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (พีพีที)



รูปที่ 18. อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (องศาเซลเซียส)



รูปที่19. การละลายของออกซิเจน (DO) เฉลี่ยของน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ผลของโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการรอดของหอยหวานระยะวัยรุ่นขนาด 1 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัย ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่ส่งผลต่อพารามิเตอร์ ได้แก่ ความยาวเปลือก และน้ำหนัก ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ทดลองโปรตีน 3 ระดับ คือ 20, 28 และ36% ผลการทดลองพบว่าระดับของโปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโปรตีน 36% มีอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักดีที่สุด คือ 0.25±0.02 เซนติเมตรต่อเดือน และ0.31±0.04 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ และทดลองไขมัน 2 ระดับ คือ 10 และ15% พบว่าระดับของไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไขมัน 10% มีอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักดีที่สุด คือ 0.20±0.26 เซนติเมตรต่อเดือน และ0.21±0.10 กรัมต่อเดือน รวมถึงทดลองคาร์โบไฮเดรต 3 ระดับ คือ 25, 30 และ35% พบว่าระดับของคาร์โบไฮเดรตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคาร์โบไฮเดรต 25% มีอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักดีที่สุด คือ 0.21±0.07 เซนติเมตรต่อเดือน และ 0.24±0.12กรัมต่อเดือน ตามลำดับ สรุปคือ ระดับโปรตีน 36% ไขมัน 10% และคาร์โบไฮเดรต 25% ให้ผลของอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด ทั้งในส่วนของความยาวเปลือก และน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาทั้งสามปัจจัยพร้อมกัน พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ ระหว่าง โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสามารถแบ่งชุดการทดลองได้ทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง จากระดับโปรตีน 3 ระดับ ไขมัน 2 ระดับ และคาร์โบไฮเดรต 3 ระดับ พบว่าชุดการทดลองทั้ง 18 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ 13 ซึ่งมีระดับโปรตีน 36% ไขมัน 10% และคาร์โบไฮเดรต 25% ให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุดทั้งในด้านความยาวเปลือก และน้ำหนัก โดยมีอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกเท่ากับ 0.27±0.01เซนติเมตรต่อเดือน และมีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.36±0.01 กรัมต่อเดือน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาในแต่ละปัจจัย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

อัตราการรอด

จากการศึกษาอัตราการรอดของหอยหวาน เมื่อเลี้ยงหอยหวานด้วยชุดอาหารทดลองทั้ง 18 ชุดการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p>0.05$ ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเลี้ยงหอยหวานในระยะเวลา 6 เดือน โดยมีค่าอัตราการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 98.52±2.68 (n=30) ในทุกชุดการทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (food conversion ratio **หรือ** FCR)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า เมื่อพิจารณาในแต่ละปัจจัย ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต พบว่า ระดับโปรตีนมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยระดับโปรตีน 36% มีค่า FCR ต่ำที่สุดคือ 8.26±1.44 และโปรตีน 20% มีค่า FCR สูงสุด คือ 32.13±4.70 แต่สำหรับไขมัน และคาร์โบไฮเดรตพบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาทั้งสามปัจจัย ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสามารถแบ่งชุดการทดลองได้ทั้งหมด 18 ชุดการทดลอง พบว่าในแต่ละชุดการทดลองทั้ง 18 ชุดการทดลองให้ผลของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยชุดอาหารทดลองที่ 13 คือ 36/10/25 (ระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในอาหาร) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด คือ 7.29±2.45 และชุดอาหารทดลองที่ 6 คือ 20/15/35 (ระดับเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในอาหาร) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด คือ 46.30±8.66 แต่จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในส่วนของอาหารผสมทั้ง 18 ชุดการทดลอง มีค่าสูงกว่าปลาสด โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ให้ปลาสดเป็นอาหารให้ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเท่ากับ 1.20±0.24 (n=2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

อภิปรายผลการวิจัย

อาหารเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการเลี้ยงหอยหวานให้ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ ในปัจจุบันเกษตรกรใช้ปลาเป็ด และปลาเลย เป็นอาหารหลัก แต่การใช้อาหารสดนั้นมีข้อเสียหลายประการ เช่นทำให้น้ำเน่าเสียง่าย เป็นพาหะของโรค ขาดแคลนในบางฤดูกาล (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 2545) อาหารเม็ดสำเร็จรูปสามารถปรับปรุงข้อด้อยเหล่านั้นได้ และยังสามารถสร้างอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเฉพาะชนิด การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อพัฒนาอาหารสำเร็จรูปสำหรับหอยหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ของสารอาหารหลัก ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ในอาหารผสมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในทางโภชนาการ โดยมีบทบาทที่สำคัญคือ ทำหน้าที่หลักในการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกาย การสร้างเซลล์ใหม่เพื่อซ่อมแซมอวัยวะที่สึกหรอ เป็นแหล่งพลังงานสำรองในร่างกาย ทำให้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานอื่น (ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต) ด้วย โดยทั่วไปถ้าสัตว์น้ำได้รับพลังงานจากอาหารที่เหมาะสม โปรตีนจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง แต่ถ้าสัตว์ได้รับพลังงานจากอาหารไม่เพียงพอ โปรตีนจะถูกนำมาใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิต ทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของสัตว์ลดลง จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ระดับโปรตีนที่ 36% ให้ผลของอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด ทั้งในส่วนของความยาวเปลือก และน้ำหนัก โดยระดับโปรตีนนี้เป็นระดับโปรตีนที่สูงที่สุดในระดับโปรตีนที่ใช้ทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou et al. (2007a) และ Ke et al. (2007) ในหอยหวานชนิดเดียวกัน (*Babylonia areolata*) ที่พบว่าระดับโปรตีน 43% ให้ผลของอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ 0.32±0.08 กรัมต่อเดือน รวมทั้งการทดลองของขนิษฐา แสงงาม (2541) ซึ่งพบว่า อาหารสำเร็จรูปที่มีปริมาณโปรตีน 40% ทำให้หอยหวานเจริญเติบโตสูงกว่าเมื่อได้รับโปรตีน 25% ดังนั้นจะเห็นได้ว่า หอยหวานเป็นสัตว์ที่มีความต้องการโปรตีนค่อนข้างสูง ซึ่งระดับโปรตีนที่ศึกษาในครั้งนี้ให้ผลดีที่สุดที่ระดับ 36% โดยอาจต้องมีการศึกษาถึงระดับโปรตีนที่เหมาะสม (optimum) ซึ่งควรสูงกว่าค่าสูงสุดในครั้งนี้ เนื่องจากมีการศึกษาของ Zhou et al. (2007a) พบว่าโปรตีนที่เหมาะสม (optimum) คือ 45% สำหรับงานของ Zhou et al. (2007a) และKe et al. (2007) เป็นการศึกษาปัจจัยโปรตีนเพียงอย่างเดียว แต่การศึกษาในครั้งนี้ต้องการทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยสามปัจจัย คือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณโปรตีน ซึ่ง

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ใช้ระดับโปรตีนต่ำกว่าการศึกษาของ Zhou et al. (2007a) และKe et al. (2007) แต่พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน คือ 0.31±0.04 กรัมต่อเดือน ในการศึกษานี้ เปรียบเทียบกับ 0.32±0.08 กรัมต่อเดือน ในรายงานของ (Zhou et al. 2007a) ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอาหารที่มีไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม สามารถลดการใช้ปริมาณโปรตีนในอาหารได้ ปกติหอยหวานเป็นสัตว์กินเนื้อของสัตว์ที่ตายแล้ว ซึ่งมีองค์ประกอบของโปรตีนในปริมาณสูง แตกต่างจากหอยเป๋าฮื้อเป็นสัตว์กินพืช ซึ่งมีความต้องการโปรตีนต่ำกว่าหอยหวาน คือ 20-35 % (Uki and Watanabe, 1992) เช่นเดียวกับปลากินเนื้อต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตสูงประมาณ 35% ขึ้นไป ในขณะที่ปลากินพืช และปลากินพืชและเนื้อ ต้องการโปรตีนต่ำกว่าเพียงประมาณ 20-25% และ 25-35% เท่านั้น (Wilson, 2002)

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ ฮอร์โมน และเอนไซม์ และไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานมากที่สุด (9.45 กิโลแคลลอรี่/กรัม) กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) เป็นอนุพันธ์ไขมัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อร่างกาย โดยช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน สำหรับการศึกษาระดับไขมันที่เหมาะสมในอาหารสำหรับสัตว์น้ำมีน้อยมาก การศึกษาส่วนใหญ่จึงเป็นการศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของไขมัน หรือพลังงานต่อโปรตีน (DE/P) เพื่อจะใช้ประโยชน์ต่อการใช้ไขมันและโปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าไขมัน 10% ให้ผลของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ke et al. (2007) ในหอยหวานชนิดเดียวกัน พบว่า ระดับไขมันที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ควรอยู่ในระดับ 7.78-10.74% และสำหรับการศึกษาของ Zhou et al. (2007b) พบว่าระดับไขมันที่ 5.91% ให้ผลการเจริญเติบโตของหอยหวานดีที่สุด โดยมีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 0.25±0.06 กรัมต่อเดือน จะเห็นได้ว่าหอยหวานเป็นสัตว์ที่มีความต้องการไขมันไม่สูงเท่ากับความต้องการโปรตีน ซึ่งระดับไขมันที่ศึกษาในครั้งนี้ให้ผลดีที่สุดที่ระดับ 10% โดยอาจต้องมีการศึกษาถึงระดับไขมันที่เหมาะสม (optimum) ซึ่งควรต่ำกว่าค่าไขมันที่ใช้ทดลองในครั้งนี้ เนื่องจากมีการศึกษาของ Zhou et al. (2007b) พบว่าไขมันที่เหมาะสม (optimum) คือ 6.54% สำหรับงานของ Zhou et al. (2007b) และKe et al. (2007) เป็นการศึกษาปัจจัยไขมันเพียงอย่างเดียว แต่การศึกษาในครั้งนี้ต้องการทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยสามปัจจัย คือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณโปรตีน ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ใช้ระดับไขมันสูงกว่าการศึกษาของ Zhou et al. (2007b) และKe et al. (2007) แต่พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน คือ 0.21±0.10 กรัมต่อเดือน ในการศึกษานี้ เปรียบเทียบกับ 0.24±0.06 กรัมต่อเดือน ในรายงานของ (Zhou et al. 2007b) ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอาหารที่มีไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม สามารถลดการใช้ปริมาณโปรตีนในอาหารได้

คาร์โบไฮเดรตเป็นโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช และสัตว์ เป็นสารพื้นฐานในเนื้อเยื่อตามอวัยวะที่สำคัญต่างๆ เช่น ไกลโคไลปิด เป็นส่วนประกอบของสารเคมีที่มีบทบาทสำคัญในร่างกายหลายชนิด เช่น ไกลโคโปรตีน เป็นต้น และเป็นคลังอาหารและพลังงาน เช่น ไกลโคเจน แป้ง รวมถึงเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก ทำให้มีการศึกษาถึงการทดแทนโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรต โดยการลดโปรตีนในสูตรอาหาร แล้วเพิ่มคาร์โบไฮเดรตเข้าไปในอาหารสัตว์น้ำ (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536) ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ระดับคาร์โบไฮเดรตที่ 25% ให้ผลของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักดีที่สุด จะเห็นว่าการศึกษาในครั้งนี้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ระดับต่ำสุด ควรมีการศึกษาถึงคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม (optimum) ซึ่งอาจจะใช้ระดับของคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้

หอยหวานมีความต้องการพลังงานจากไขมัน และคาร์โบไฮเดรตไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับความต้องการโปรตีน อาจมีสาเหตุเนื่องจาก หอยหวานเป็นสัตว์ที่มีนิสัยชอบฝังตัวนิ่งๆ อยู่ในพื้นทราย มีการเคลื่อนไหวน้อย และอาหารธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นซากสัตว์ที่ตายแล้ว จึงไม่ต้องใช้พลังงานเพื่อการไล่ล่าเหยื่อ นอกจากนั้นยังสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้นานกว่า 100 วัน โดยไม่ต้องกินอาหาร เนื่องจากสามารถลดอัตราการใช้ออกซิเจนในระหว่างสภาวะขาดแคลนอาหาร ด้วยการฝังตัวอยู่ภายในพื้นทรายและโผล่ท่อหายใจขึ้นมาเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงาน (Morton, 1990) ดังนั้นจากพฤติกรรมของหอยหวาน ทำให้หอยหวานต้องการสารอาหารประเภทพลังงานน้อยกว่าสารอาหารประเภทโปรตีน

ทั้งไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับ mollusk แต่การที่สัตว์น้ำได้รับพลังงานมากเกินความจำเป็น อาจจะส่งผลต่อองค์ประกอบทางสรีระ และระดับโปรตีนในร่างกาย โดยส่งผลให้ระดับโปรตีนที่สะสมในร่างกายลดลง จากการศึกษาของ Lee and Putnum (1973) เกี่ยวกับผลของไขมันที่มีต่อผลผลิตของ ปลา rainbow trout พบว่า ไขมันที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.5-12% ของน้ำหนักแห้ง การเพิ่มไขมันในอาหารเป็น 16% ของอาหารแห้ง ทำให้ระดับโปรตีนสะสมในร่างกาย และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) ของปลาลดลง การศึกษาในหอยหวานโดย Zhou et al (2007a) พบว่าองค์ประกอบของไขมันในส่วนของ soft body จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระดับโปรตีนในอาหาร การที่สัตว์น้ำได้รับพลังงานจากไขมัน และคาร์โบไฮเดรตอย่างเพียงพอ สามารถทำให้โปรตีนถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง โดยไม่ต้องนำโปรตีนมาใช้เป็นพลังงานสำรอง จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน คือ 36% 10% และ 25% ตามลำดับ

อัตราการรอด

ระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่ออัตราการรอดของหอยหวานระยะวัยรุ่นขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากลูกหอยระยะที่มีความยาวเปลือก 0.5 เซนติเมตรขึ้นไป จะมีอัตราการรอดตายค่อนข้างสูง เพราะลูกหอยหวานขนาดนี้ จะมีความแข็งแรงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีมาก เหมาะที่จะนำไปเลี้ยงเป็นหอยเนื้อขนาดที่ตลาดต้องการได้ (บังอร ศรีมุกดา และคณะ, 2548) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าหอยหวานมีอัตราการรอดเฉลี่ย 98.52% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของขนิษฐา แสงงาม (2541) และ Chaitanawisuti et al. (2001) ที่พบว่าอาหารผสมที่ใช้ทดลองคืออาหารที่มีระดับโปรตีน 25%, 40% และที่ระดับโปรตีน 36% และ 45% ไม่มีผลต่ออัตราการรอดของหอยหวาน โดยมีอัตราการรอดเฉลี่ย เท่ากับ 96.55% และ 97.50% ตามลำดับ สำหรับการตายที่พบในการศึกษาครั้งนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการที่หอยปีนขึ้นมาติดขอบกระบะแล้วแห้งตาย มากกว่าการตายจากอาหาร

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (food conversion ratio **หรือ** FCR)

ประสิทธิภาพของอาหารสามารถพิจารณาได้จาก ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ FCR ซึ่งเป็นค่าของน้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยอาหาร ทำให้ทราบว่า สัตว์น้ำมีความสามารถเปลี่ยนอาหารที่กินเข้าไปให้เป็นเนื้อ หรือน้ำหนักได้มากน้อยเพียงไร โดยอาหารที่มีคุณภาพดีจะทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่ได้เป็นผลของโปรตีน หรือกรดอะมิโนอย่างเดียวเท่านั้น โดยอาจเกิดจากธาตุอาหารอื่นๆ เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ เช่นเดียวกับอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความชื้นในอาหารแต่ละประเภท ซึ่งส่งผลให้มีค่าแตกต่างกันออกไป (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

เมื่อเปรียบเทียบสารอาหารหลัก 3 ตัวจากการทดลองนี้ ชี้ว่าเฉพาะโปรตีนเท่านั้น ที่มีอิทธิพลต่อค่า FCR อาหารทดลองที่ใช้ในครั้งนี้ให้ค่า FCR ค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากองค์ประกอบของอาหารที่ใช้ทดสอบ มีส่วนประกอบของแป้งสาลีสูงเกือบเท่าปลาป่น แม้ว่าแป้งสาลีจะเป็นแหล่งของโปรตีน แต่มีประสิทธิภาพการย่อยต่ำกว่าปลาป่น โดยทั่วไปสัตว์น้ำสามารถย่อยปลาป่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยย่อยได้มากกว่า 90% ในขณะที่สามารถย่อยแป้งสาลีได้ประมาณ 62% เท่านั้น (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536; Gibson Gaylord and Delbert, 1996) ทำให้หอยหวานไม่สามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างเต็มที่ นอกจากนั้น อาหารทดลอง เป็นอาหารกึ่งเปียกซึ่งมีความชื้นสูงประมาณ 60 % ทำให้มีการแตกตัวได้ง่ายในน้ำ ทำให้เกิดการสลายตัวในน้ำก่อนที่หอยจะจับกินเป็นอาหารได้ ปริมาณโปรตีนที่เปลี่ยนเป็นเนื้อหอย จึงไม่ตรงต่อความเป็นจริง

ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ที่คำนวณได้จึงเป็นค่า apparent FCR ไม่ใช่ค่าจริง (absolute FCR) โดยหาได้จากน้ำหนักอาหารที่ใช้หารด้วยน้ำหนักของสัตว์ที่เพิ่มขึ้น (De Silva and Anderson, 1995) เมื่อเปรียบเทียบจากผลการศึกษาของ Zhou et al. (2007a) ถึงความต้องการโปรตีนของหอยหวานชนิดเดียวกัน ในระยะ juvenile โดยใช้อาหารกึ่งสำเร็จรูป พบว่าอาหารที่มีโปรตีน 43% มีค่าของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด คือ 1.06 ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากองค์ประกอบที่ใช้ในอาหารกึ่งสำเร็จรูป มีส่วนประกอบของปลาป่นเป็นส่วนใหญ่ ทำให้หอยหวานสามารถนำโปรตีนไปใช้ได้อย่างเต็มที่ และมีการเติม gelatin และ cellulose เพื่อเป็นสารประสานอาหาร (binder) อีกทั้งอาหารทดลองผ่านการทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้มีความชื้นในอาหารต่ำประมาณ 10% ส่งผลให้อาหารที่ใช้เลี้ยงมีการแตกตัวได้น้อย หอยสามารถกินอาหารได้อย่างเต็มที่ เป็นผลให้สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อนึ่ง ได้ทดลองเปรียบเทียบอาหารผสมกับอาหารสด พบว่า อาหารสดมีค่า FCR ต่ำกว่าอาหารผสมทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารสด (ปลาเป็ด และปลาเลย) มีความดึงดูด และมีประสิทธิภาพการย่อยดีกว่าอาหารผสม อย่างไรก็ตาม การใช้อาหารสำเร็จรูปก็ยังมีความจำเป็นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้เราต้องพยายามศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้อาหารสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดีขึ้น เพื่อใช้เลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากหอยหวานกินอาหารในลักษณะของการใช้ proboscis ใชเข้าไปในอาหาร ดังนั้นอาหารที่ใช้ควรเป็นอาหารกึ่งเปียกที่คงรูปอยู่ในน้ำได้นาน และไม่แข็งจนเกินไป
2. จากข้อจำกัดในการขึ้นรูปของอาหารทำให้ต้องใช้แป้งค่อนข้างสูง อาจมีผลให้การเติบโตไม่ชัดเจน เนื่องจากประสิทธิภาพการย่อยแป้งของสัตว์กินเนื้อไม่สูงนัก ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรเพิ่มแหล่งโปรตีนจากสัตว์ให้สูงขึ้น
3. ควรมีการศึกษาในส่วนของสารดึงดูดในอาหาร (feeding attractants) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกินอาหารของหอยหวานให้สูงขึ้น
4. ในการศึกษาในอนาคตเกี่ยวกับระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารหอยหวาน ควรเพิ่มระดับโปรตีนในการศึกษาให้สูงกว่าการศึกษาครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากมีการศึกษาของ Zhou et al. (2007a) พบว่าระดับโปรตีนสูงสุดที่เหมาะสม (optimum) ต่อการเจริญเติบโตของหอยหวานในระยะ juvenile คือ 45%
5. ในอนาคตอาจมีการศึกษาในส่วนของสัดส่วนของพลังงานต่อโปรตีน (DE/P) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการใช้ประโยชน์จากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ขนิษฐา แสงงาม. 2541. ผลของโปรตีนและไขมันในอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่มีต่อการเติบโต เติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata.* เอกสารโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธานินทร สิงหะไกรวรรณ. 2539. การศึกษาชีววิทยาบางประการของหอยหวานในบ่อเลี้ยงเพื่อการผลิตพันธุ์สำหรับปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 57. ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก กรมประมง.

นิพนธ์ ศิริพันธ์ และ จรัญ วงษ์วิวัฒนาวุฒิ. 2543. การเพาะฝักหอยหวาน *Babylonia areolata*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 51/2543 สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดชลบุรี กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งร่วมกับสำนักวิชาการกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิตยสารสัตว์น้ำ. 2543. หอยหวานสัตว์น้ำเศรษฐกิจตัวใหม่. สัตว์น้ำ 11(125): หน้า 122-125.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์. 2545. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยหวาน หลักการและแนวปฏิบัติ. หนังสือในโครงการจัดพิมพ์เผยแพร่ รายงานการวิจัย ลำดับที่ 8. หน้า114. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์. 2548. การศึกษาผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่น *Babylonia areolata* ถึงขนาดตลาดในบ่อดินด้วยวิธีการเลี้ยงแบบต่างๆ. เอกสารประกอบการสัมมนาผลการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

บังอร ศรีมุกดา สุรชาต ฉวีภักดิ์ และ วริษฐา หนูปิ่น. 2548. การผลิตลูกหอยหวาน *Babylonia areolata* Link,1807 เชิงพาณิชย์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 24/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

ระย้า เพชรขำ. 2545. ระดับโปรตีนและไขมันที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลากระพงขาว *Lates calcarifer.* เอกสารโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลือชัย ดรุณชู เกียรติศักดิ์ เสนะวีณิน และ คมคาย ลาวัณยวุฒิ. 2548. การเลี้ยงหอยหวาน *Babylonia areolata* ด้วยอาหารที่ต่างกัน. เอกสารวิชาการที่ 34/ 2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. อาหารปลา. หน้า 206. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ภาษาอังกฤษ

Altena, C.O.V.R. and Gittenberger, E. 1981. The genus Babylonia (Prosobranchia, Buccinidae). Zoologische Verhandelingen 188: 1-57.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International. 16th (ed.). Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA.

Boonyaratpalin, M. 1991. Asian seabass. *Lates calcarifer*. In Handbook of Nutrition Requirements of Finfish. CRC press 5-11.

Chaitanawisuti, N. and Kritsanapuntu, A. 1997. Laboratory spawning and juvenile rearing of the marine gastropod Spotted Babylon *Babylonia areolata* Link 1807 (Neogastropoda Buccinidae). In Thailand. Journal of Shellfish Research 16(1): 31-38.

Chaitanawisuti, N. and Kritsanapuntu, A. 1997a. Laboratory spawning and juvenile rearing of the marine gastropod Spotted Babylon *Babylonia areolata* Link 1807 (Neogastropoda Buccinidae). In Thailand. Journal of Shellfish Research 16: 31-37.

Chaitanawisuti, N. and Kritsanapuntu, A. 1999. Effects of different feeding regimes on growth, survival and feed conversion of hatchery-reared juveniles of the gastropod mollusk Spotted Babylon *Babylonia areolata* Link 1807 in flowthrough culture systems. Journal of Aquaculture Research 30: 589-593.

Chaitanawisuti, N. and Kritsanapuntu, S. 2000. Growth and production of hatchery-reared juveniles Spotted Babylon *Babylonia areolata* Link 1807 cultured to marketable size in intensive flowthrough and semi-closed recirculating water systems. Journal of Aquaculture Research 31: 415-419.

Chaitanawisuti, N., Kritsanapuntu, S., and Natsukari, Y. 2001. Comparative Study on Growth, Feed Efficiency and Survival of Hatchery-Reared Juvenile Spotted Babylon, *Babylonia areolata* Fed with Formulated Diets. Journal of Asian Fisheries Science. Asian Fisheries Society. Manila. Philippines 14: 53-59.

Chaitanawisuti, N., Kritsanapuntu, S., and Natsukari, Y. 2002. Economic analysis of a pilot Commercial production for Spotted Babylon, *Babylonia areolata*, of marketable sizes using a flow-through culture system in Thailand. Journal of Aquaculture Research 33: 1265-1272.

Chaitanawisuti, N. and Kritsanapuntu, S. 2002a. Research and Development on Production of New Candidate Marine Gastropod, Spotted Babylon *Babylonia areolata* for Conservation and Rehabilitation of the Economic Marine Resources in Thailand. Nationnal Research Council of Thailand. Ministry of science and Evironment. Bangkok. Thailand.

Chaitanawisuti, N., Kritsanapuntu, S., and Natsukari, Y. 2004. Research and Development on commercial land-based aquaculture of Spotted Babylon *Babylonia areolata* Link 1807, in Thailand Pilot grow-out operation. Research and farming techniques. Aquaculture asia 4: 21-25.

Chen, Y., Ke, C.H., Zhou, S.Q., and Li, F.X. 2005. Effect of food availability on feeding and growth of cultivated juvenile *Babylonia formosae habei* (Altena and Gittenberger 1981). Journal of Aquaculture Research 36: 94-99.

Cowey, C.B. and Sargen, J.R. 1979. Nutrition. In: Fish Physiology Vol. VIII. Academic Press. New York. 1-69.

Deshimaru, O. and Yone, Y. 1978. Requirement of prawn for dietarg minerals. Bulletin. Japanese Soceity Science Fishery 44: 907-910.

De Silva, S.S. and Anderson, T.A. 1995. Fish Nutrition in aquaculture. Chapman & Hall.

Gibson Gaylord, T. and Delbert, M.G. 1996. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). Journal of Aquaculture Research 139(3-4): 303-314.

Ke, C.H., Xu, Y.B., and Wang, D.X. 2007. Protein and Lipid Requirement IN Ivory Shell *Babylonia areolata.* Meeting Abstract of Aquaculture Society. China.

Lall, S.P. 1991. Conceot in the formulation and preparation of a complete fish diet. In S. S. De Silva (ed.). Fish Nutrition research in Asian Society Special Publication. 5. 205. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines 1-12.

Lee, D.J. and Putnum, G.B. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy rations in a test diet. Journal of Nutrition 103: 916-922.

Le, V. and Ngo, D.N. 2006. Effect of fresh feed on growth of maculated ivory whelk *Babylonia areolata*. Fisheries Informatics Centre. Fisheries Review No. 8.

Morton, B. 1990. The physiology and feeding behaviour of two marine scavenging gastropods in Hong Kong. The subtidal *Babylonia lutosa* (Lamarck) and the intertidal *Nassarius festivus* (Powys). Journal of Mollusca study 56: 275-288.

Patterson, J.K., Raghunathan, C., and Ayyakkannu, K. 1995. Food preference, consumption and feeding behaviour of scavenging gastropod *Babylonia spirata* (Neogastropoda Buccinidae). Indian Journal of Marine Science 24: 104-106.

Raghunathan, C., Patterson, J.K., and Ayyakkannu, K. 1994. Long-term study on food consumption and growth rate of *Babylonia spirata* (Neogastropoda Buccinidae). Pluket Marine Biological Center Special Publication 15: 199-204.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 167. Ottawa. 310 pp.

Takeuchi, T., Watanabe, T. and Nose, C. 1978. Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout. Bulletin. Japanese Soceity Science Fishery 44(6): 683-688.

Uki, N. and Watanabe, T. 1992. Review of nutritional requirements of abalone (*Haliotis* spp.) and development of more efficient artificial diets. In: Shepherd S.A., Tegner M.J., and Guzman Del Proo S.A. (Eds.), Abalone of the World: Fisheries Biology and Culture. Proceeding of the 1st International Symposium on Abalone. Fishing News Books. Oxford. 504–517.

Wilson, R.P. 2002. Amino acids and proteins, In: Halver J.E., Hardy R.W. (Eds.). Fish Nutrition. 3rd ed. Academic Press. New York. 143–179.

Zhou, J.B., Zhou, Q.C., Chi, S.Y., Yang, Q.H., and Liu, C.W. 2007a. Optimal dietary protein requirement for juvenile ivory shell, *Babylonia areolate*. Aquaculture 270: 186-192.

Zhou, Q.C., Zhou, J.B., Chi, S.Y., Yang, Q.H., and Liu, C.W. 2007b. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and digestive enzyme of juvenile ivory shell, *Babylonia areolate*. Aquaculture 272: 535-540.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพอาหารทดลอง

1. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)

การย่อยสลาย (digestion)

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 0.7-2.2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา K_2SO_4 4 กรัม และ Cu SO_4 0.5 กรัม เติม cons. H_2 SO_4 25 มิลลิลิตร
3. นำ Kjeldahl flask ตั้งบนเตาย่อยเริ่มจากไฟอ่อนไปจนถึง 380 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายขาวใส

การกลั่น (distillation)

1. ต่อ Kjeldahl flask เข้าเครื่องกลั่น ให้ปลายด้านหนึ่งของ condenser จุ่มใน 4% Boric acid ที่มีการหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด
2. นำตัวอย่างที่ย่อยมาเติมน้ำ 75-100 มิลลิลิตร NaOH 70 มิลลิลิตร

การไตเตรต (titration)

1. นำตัวอย่างที่กลั่นได้มาไตเตรตด้วยสารละลายกรดมาตรฐาน 0.1N HCl
2. บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ในการไตเตรต

การคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

$$\%\text{Nitrogen} = \frac{(\text{ml.HCl ตัวอย่าง} - \text{ml.HCl Blank})*\text{normality of acid}*1.47}{\text{weight of sample}}$$

การคำนวณหาปริมาณโปรตีน

%Crude Protein = %Nitrogen*6.25

2. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC, 1995)

1. นำบีกเกอร์ปากแบนขนาด 100 มิลลิลิตร ที่สะอาดไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโหลดูดความชื้นแล้วนำออกมาชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่ ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักคงที่ประมาณ 2-3 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน extraction thimble
2. เปิดเครื่องสกัดไขมัน ตั้งอุณหภูมิและเวลาตามที่ต้องการสกัด เติม Petroleum ether ลงในบีกเกอร์ปากแบนที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วประมาณ 30-60 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอในการกลั่น 3-4 ชั่วโมง

3. นำ extraction thimble ที่บรรจุตัวอย่างอาหารแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ปากแบนที่เตรียมไว้ จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน
4. เปิดเครื่อง cooling ให้น้ำเย็นไหลผ่านเครื่องควบแน่นตลอดเวลา สังเกตอัตราการไหลของน้ำที่มีท่อน้ำออก ปรับอัตราการไหลให้คงที่ เพื่อให้ได้อัตราการควบแน่นที่ต้องการ นำบีกเกอร์ที่บรรจุ Petroleum ether ไปติดตั้งกับเครื่อง วางเข้าที่บน heating plate ผลักปุ่มด้านหน้าไปที่ตำแหน่ง immersion จุ่มแช่ thimble ลงในสารทำละลายเป็นเวลาประมาณ 30 นาที
5. ยกตัวอย่างขึ้นจากสารทำละลายในขั้นตอน reflux washing เป็นเวลา 45 นาที โดยผลักปุ่มด้านหน้าไปที่ตำแหน่ง washing
6. เมื่อครบเวลา reflux washing เปิดวาล์วที่ condenser ไปตำแหน่ง closed เพื่อทำการดูดสารทำละลายกลับมาที่ส่วนล่างของ condenser glass
7. ปลดคานที่บังคับ glass vessel กับ condenser glass ออก นำ thimble ออก นำบีกเกอร์ไปอบที่ตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำบีกเกอร์ที่อบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโหลดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณหาปริมาณไขมัน

คำนวนค่าจาก **%Ether extract** = [(b-a)/w]*100

a คือ น้ำหนักของบีกเกอร์

b คือ น้ำหนักของบีกเกอร์และไขมันหลังอบ

w คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

1. บดตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ให้ละเอียด
2. อบ crucible ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นและใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนัก crucible
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดละเอียด 2-3 กรัม ใส่ใน crucible
4. นำ crucible พร้อมตัวอย่างออกจากตู้อบ แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก crucible พร้อมตัวอย่าง

การคำนวณหาปริมาณความชื้น

เปอร์เซ็นต์ความชื้น = [(a-b)/w]*100

a คือ น้ำหนัก crucible พร้อมตัวอย่างก่อน

b คือ น้ำหนัก crucible พร้อมตัวอย่างหลังอบ

w คือ น้ำหนักตัวอย่าง

4. **การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย** (AOAC, 1995)

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว (ทราบน้ำหนักอย่างละเอียด) มาใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติม 1.25% Sulfuric acid จนถึงระดับ 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มให้สารละลายเดือด ตลอดเวลานาน 30 นาที
3. หลังจากส่วนผสมเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที (ขณะต้มให้เปิดวาล์วด้านหน้าเครื่องไปที่ตำแหน่ง close)
4. เปิดวาล์วไปที่ตำแหน่ง vacuum และกดสวิตซ์ vacuum เพื่อระบาย Sulfuric acid ออก
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยกรดผ่านกรวยบุชเนอร์ที่รองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
6. เติมสารละลาย 1.25% Potassium hydroxide ที่ทำให้ร้อนลงไป 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มให้สารละลายเดือดตลอดเวลานาน 30 นาที
7. หลังจากส่วนผสมเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที (ขณะต้มให้เปิดวาล์วด้านหน้าเครื่องไปที่ตำแหน่ง close)
8. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยด่างผ่านกรวยบุชเนอร์ที่รองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
9. ละลายตัวอย่างกากที่ติดกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแน่นนอน ล้างกากที่ได้ด้วย ethanol ปริมาตร 25 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง
10. ทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ ค่าที่ได้จะเป็นค่าน้ำหนักของเส้นใยหยาบรวมกับน้ำหนักเถ้า
11. ทิ้งให้เย็นใน desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักก่อนเผา
12. นำ crucible สำหรับวิเคราะห์เยื่อใยไปเผาในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงในโหลดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่ crucible

13. เผา crucible พร้อมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าเป็นสีขาว
14. ทิ้งให้เย็นใน desiccators เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักหลังเผา

การคำนวณหาปริมาณเยื่อใย

เปอร์เซ็นต์ = [(b-a)/w]*10

a คือ น้ำหนัก crucible รวมกับน้ำหนักเยื่อใยและเถ้าก่อนเผา

b คือ น้ำหนัก crucible รวมกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา

w คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

5. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

1. นำ porcelain crucible ไปทำให้แห้งใน furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
2. ทำให้เย็นลงใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง
3. ชั่งน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักที่ได้เป็น a
4. ชั่งตัวอย่างอาหาร 2-5 กรัม ใส่ใน crucible ที่ทำให้เย็นในข้อ 2
5. นำอาหารในข้อ 4 ไปตั้งบน hot plate หรือ flame Bunsen burner จนกระทั้ง อาหารเป็นเถ้าดำไม่ฟุ้งกระจาย
6. จากนั้นนำไปเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั้งเถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทาอ่อนๆ จึงนำออกมาทำให้เย็นใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง
7. ถ้าเถ้าที่เผายังไม่เป็นสีขาว (ยังเป็นสีดำหรือเทาเข้ม) นำมาใส่ nitric 50% (v/v) 2 ml
8. นำไประเหยและตั้งบน hot plate หรือ flame Bunsen burner
9. จากนั้นนำไปเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 30 นาที
10. เมื่อได้เถ้าสีขาวแล้วทำให้เย็น ใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง นำมาชั่งน้ำหนัก ให้น้ำหนักที่ได้เป็น b

การคำนวณหาปริมาณเถ้า

% เถ้า (w/w) = ((b-a)/w) 100

a คือ น้ำหนักถ้วยเปล่า (กรัม)

b คือ น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

w คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. การวิเคราะห์ Nitrite โดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี (Strickland and Parsons, 1972)

สารเคมี

1. Sulphanilamide solution

ละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulphanilamide) 5 กรัม ลงในสารละลายที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. N-(1-napthyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution

ละลายไดไฮโดรคลอริก 0.50 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดแก้วสีชา

3. Standard nitrite solution

เตรียมโซเดียมไนไตรท์ที่ปราศจากน้ำ($NaNO_2$) โดยอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ละลาย 0.345 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร จะได้สาร 5000 ไมโครกรัมอะตอมไนโตรเจนต่อลิตร (1 ml = 5 µg-at nitrogen) เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา

เจือจางสาร 10 มิลลิลิตรในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร จะได้สาร 50 ไมโครกรัมอะตอมไนโตรเจนต่อลิตร และควรเตรียมสารก่อนใช้งานทันที เจือจางสารละลายต่อโพแทสเซียมไนเตรตจนได้ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 µg-at N l^{-1}

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ไนไตรท์โดยทำ Blank ด้วย แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐาน

วิธีการทดลอง

1. เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร ด้วย Automatic pipette ในแต่ละตัวอย่าง รวมถึงสารละลายไนไตรท์มาตรฐานและ Blank (ใช้สารละลายตัวอย่าง 50 มิลลิลิตรในฟลาสก์ 125 มิลลิลิตร) ผสมแล้วปล่อยให้สารทำปฏิกริยาประมาณ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที
2. เติมสารละลายเนพทิลเอทีลีนไดเอมีน 1 มิลลิลิตร แล้วผสมกันอย่างรวดเร็ว ระหว่าง 10 นาทีถึง 2ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร โดยใช้คิวเวตขนาด 1 เซนติเมตร

หมายเหตุ

1. วิธีการวิเคราะห์ไนไตรท์วิธีนี้ไม่มีผลกระทบจากค่าซาลินิตี แต่การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและปริมาตรของรีเอเจนท์เล็กน้อยหรืออุณหภูมิ ต่อการตรวจวัดไนไตรท์ อุณหภูมิ

ควรอยู่ในช่วง 15-25°C ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 45-55 มิลลิลิตร

2. ปฏิกริยา Diazotizing ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 2 นาทีจึงเกิดปฏิกริยาสมบูรณ์ แต่จะเกิดปฏิกริยาที่ไม่ต้องการและเกิดการสลายตัวเมื่อทิ้งไว้เกิน 10 นาที
3. ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 10 นาทีเพื่อให้เกิดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ สีย้อมที่ได้จะอยู่คงที่อย่างน้อย 2 ชั่วโมง และจะค่อยๆ จางลง หลังจากนั้น ที่เวลา 2 ชั่วโมงเป็นเวลาที่มากที่สุดและเป็นขอบเขตที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาดมากนัก แต่ในช่วงเวลา 1-2 ชั่วโมงควรเก็บสารละลายให้พ้นจากแสงแดด

2. การหาค่าอัลคาลินิตี (Alkalinity) โดยวิธีการไทเทรต (Strickland and Parsons, 1972)

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน 0.01 N Hydrochloric

เจือจาง 0.1 N Hydrochloric acid 10 เท่าด้วยน้ำกลั่น

2. น้ำทะเลตัวอย่าง

เตรียมโดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐาน 0.01 N Hydrochloric acid 25 มิลลิลิตร ลงในขวดโพลีเอทีลีน
2. ปิเปตน้ำทะเลตัวอย่างลงในขวด 100 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้แน่น แล้วเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้อง
3. วัดค่า pH ของสารละลายด้วย pH meter บันทึกผล
4. เติม 0.01 N Hydrochloric acid จนกระทั่ง pH ของสารละลายมีค่าประมาณ 4 บันทึกผล

วิธีการคำนวณ

Total alkalinity sample No. 25

$= (1000V_a \times N)/V_s - (1000(V_s + V_a)/Vs) \times (a_H/f_H)$

$= (1000 \times 12.0 \times 0.01)/100 - (1000(100 + 12.0)/100) \times (0.126 \times 10^{-3}/0.7296)$

$= 1.2 - 0.193$

$= 1.007$

Total alkalinity sample No. 26

$= (1000V_a \times N)/V_s - (1000(V_s + V_a)/Vs) \times (a_H/f_H)$

= (1000 x 19.2 x 0.01)/100 – (1000(100 + 19.2)/100) x (0.126 x 10^{-3}/0.753)

= 1.92 – 0.199

= 1.721

V_a คือ ปริมาตรของ 0.01 N HCl ที่ใช่ (ml)

V_s คือ ปริมาตรของน้ำทะเลตัวอย่าง (100 ml)

N คือ ความเข้มข้นของ HCl (0.01 N)

a_H คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่วัดจากไฮโดรเจนไอออนแอคทิวิตี

f_H คือ ค่าปัจจัยสำหรับการวัดอัลคาลินิตีทั้งหมด

(a_H from VI.5. Conversion of *p*H to hydrogen ion activity, and f_H from VI.6. Factors for total alkalinity measurement, A Practical Handbook of Seawater Analysis; BULLETIN 167 (Second edition) page 296-297)

3. การวิเคราะห์หาแอมโมเนีย (Strickland and Parsons, 1972)

การเก็บตัวอย่างและการรักษาตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์หาแอมโมเนียอาจเก็บในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก (polyethylene, polypropylene) ก็ได้ การวิเคราะห์หาแอมโมเนียควรกระทำทันทีภายใน 2-3 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่าง หรือแช่เย็นตัวอย่างไว้ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นาน

น้ำยาเคมี และวิธีเตรียม

1. น้ำกลั่น de-ionized

น้ำกลั่น de-ionized ใช้สำหรับเตรียมสารละลาย, แบลงค์ และสารมาตรฐาน น้ำกลั่นที่ใช้ควรได้จากการกลั่นใหม่ ๆ

2. สารละลายฟีนอล

ละลายฟีนอล (C6H5OH) 5 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % (V/V) 50 มิลลิลิตร

1. สารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์

ละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ (Na2Fe(CN)5NO.2H2O) 0.5 กรัม ในน้ำ de-ionized 100 มิลลิลิตร เก็บรักษาสารละลายนี้ในขวดแก้วสีน้ำตาล สารละลายนี้มีอายุ 1 เดือน

2. สารละลายอัลคาไลน์

ละลายไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรต (Na3C6H5O7.2H2O) (analytical reagent grade) 20 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (analytical reagent grade) 1 กรัม ในน้ำ de-ionized 100 มิลลิลิตร

3. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีอยู่ในท้องตลาด (เช่น ไฮเตอร์) เพื่อให้ความเข้มข้น ของคลอไรด์มากกว่า 1.5 นอร์มอล ควรซื้อที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ๆ อย่างไรก็ตามจะต้องตรวจสอบความแรงของไฮเตอร์ก่อนใช้ ดังนี้

1) ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 12.5 กรัม ในน้ำ deionized 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
2) ละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ในน้ำ deionized 50 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ แล้วเติมไฮเตอร์ลงไป 1 มิลลิลิตร
3) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 นอร์มอล) ลงในสารละลายในข้อ 2)
4) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี
5) ไฮเตอร์จะเสื่อมสภาพและนำมาวิเคราะห์หาแอมโมเนียไม่ได้ถ้าการไตเตรทตามข้อ 4) ใช้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตน้อยกว่า 12 มิลลิลิตร

4. สารละลาย oxidizing

ผสมสารละลายอัลคาไลน์ และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้าด้วยกันในอัตราส่วน 4:1 (ตารางที่1.) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกวัน

5. น้ำทะเลเทียมละลายโซเดียมคลอไรด์ (analytical reagent quality) เป็นกรัมตามความเค็มที่ต้องการในน้ำกลั่น 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนีย :

ละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) (analytical reagent grade) ที่อบแห้ง 105-110 องศาเซลเซียส นาน 1-24 ชั่วโมง ปริมาณ 0.165 กรัม ด้วยน้ำกลั่น de-ionized แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 35 mg-N/L และเรียกสารละลายนี้ว่า stock standard

ตารางที่ 1. สัดส่วนของสารละลายอัลคาไลน์ และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ใช้เตรียมสารละลายออกซิไดซิง (Oxidizing)

สารละลาย alkaline (มิลลิลิตร)	สารละลาย sodium hypochlorite (มิลลิลิตร)	รวม (มิลลิลิตร)
4	1	5
8	2	10
12	3	15
16	4	20
20	5	25
24	6	3

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) ดูดสารละลายจาก stock standard solution มา 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.35 mg-N/L

2) ดูดสารละลายจากข้อ 1). มา 5, 10, 20 และ 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น หรือน้ำทะเลเทียม สารละลายนี้ มีความเข้มข้น 0.035, 0.070, 0.140 และ 0.280 mg-N/L ตามลำดับ สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นหรือน้ำทะเลเทียมให้สอดคล้องกับสารละลายมาตรฐาน

3) จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ และสารละลายออกซิไดซิง 2.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน (เพื่อประหยัดน้ำยาเคมีอาจดูดสารละลายจากข้อ 2) 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง (test tube) แล้วเติมน้ำยาเคมีในปริมาตรที่เป็นสัดส่วนกันก็ได้

4) ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี Linear regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จาก เครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ใช้ไปเปตดูดน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิดเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของแอมโมเนีย

2) เติมสารละลายฟีนอล 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปรัสไซด์ และสารละลายออกซิไดซิง 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร

4) จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้ในกรณีความเค็มของน้ำตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานแตกต่างกันเกิน 2psuควรปรับแก้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากตัวอย่างด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$NH3(corr) = (1+0.0073 \times (Ss - S0)) \times NH3(unc)$

เมื่อ NH3(corr) , NH3(unc) = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างที่ปรับแก้ผลเนื่อง

จากความเค็มแล้ว และยังไม่ได้ปรับแก้ผลเนื่องจากความเค็มตามลำดับ และ S0 และ Ss = ความเค็มของสารละลายมาตรฐานและน้ำตัวอย่างตามลำดับ

4. **อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเค็ม** (refractometer)

รูปที่ 20. **เครื่องวัดความเค็ม** (refractometer)

5. **อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากรด-เบส** (pH meter)

รูปที่ 21. **เครื่องวัดค่าพี-เอช** (pH meter)

6. **อุปกรณ์ที่ใช้ไรการวัดค่าการละลายออกซิเจน** (DO meter)

รูปที่ 22. **เครื่องวัดค่าการละลายออกซิเจน** (DO meter)

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ด้วย วิธี analysis of variance

ตารางที่ 13. ANOVA**ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: length

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	229.672(a)	17	13.510	65.853	.000
Intercept	16180.870	1	16180.870	78870.570	.000
formulate	229.672	17	13.510	65.853	.000
Error	1536.628	7490	.205		
Total	17947.207	7508			
Corrected Total	1766.300	7507			

a R Squared = .130 (Adjusted R Squared = .128)

ตารางที่ 14. ANOVA**ของการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักใของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: w

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	507.183(a)	17	29.834	81.609	.000
Intercept	3882.089	1	3882.089	10619.043	.000
formulate	507.183	17	29.834	81.609	.000
Error	2738.180	7490	.366		
Total	7125.093	7508			
Corrected Total	3245.363	7507			

a R Squared = .156 (Adjusted R Squared = .154)

ตารางที่ 15. ANOVA**ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sli

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.640(a)	17	.214	19.838	.000
Intercept	48.767	1	48.767	4517.782	.000
formulate	3.640	17	.214	19.838	.000
Error	.194	18	.011		
Total	52.602	36			
Corrected Total	3.835	35			

a R Squared = .949 (Adjusted R Squared = .901)

ตารางที่ 16. ANOVA**ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.095(a)	17	.770	31.929	.000
Intercept	52.104	1	52.104	2159.765	.000
formulate	13.095	17	.770	31.929	.000
Error	.434	18	.024		
Total	65.634	36			
Corrected Total	13.529	35			

a R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .938)

ตารางที่ 17. ANOVA**ของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: slr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.100(a)	17	.006	18.310	.000
Intercept	1.369	1	1.369	4248.310	.000
formulate	.100	17	.006	18.310	.000
Error	.006	18	.000		
Total	1.475	36			
Corrected Total	.106	35			

a R Squared = .945 (Adjusted R Squared = .894)

ตารางที่ 18. ANOVA**ของอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละชุดทดลอง**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.364(a)	17	.021	31.929	.000
Intercept	1.447	1	1.447	2159.765	.000
formulate	.364	17	.021	31.929	.000
Error	.012	18	.001		
Total	1.823	36			
Corrected Total	.376	35			

a R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .938)

ตารางที่ 19. ANOVA **ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: length

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	107.862(a)	17	6.345	63.081	.000
Intercept	3796.978	1	3796.978	37750.233	.000
protein	95.901	2	47.951	476.733	.000
lipid	3.265	1	3.265	32.461	.000
car	2.873	2	1.437	14.282	.000
protein * lipid	.134	2	.067	.666	.514
protein * car	3.568	4	.892	8.867	.000
lipid * car	.581	2	.291	2.889	.056
protein * lipid * car	2.221	4	.555	5.520	.000
Error	105.208	1046	.101		
Total	4011.290	1064			
Corrected Total	213.070	1063			

a R Squared = .506 (Adjusted R Squared = .498)

ตารางที่ 20. ANOVA **ของการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: w

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	387.340(a)	17	22.785	65.830	.000
Intercept	1869.119	1	1869.119	5400.303	.000
protein	337.897	2	168.948	488.130	.000
lipid	4.437	1	4.437	12.821	.000
car	21.651	2	10.826	31.278	.000
protein * lipid	.939	2	.469	1.356	.258
protein * car	13.071	4	3.268	9.441	.000
lipid * car	1.496	2	.748	2.161	.116
protein * lipid * car	9.226	4	2.307	6.664	.000
Error	362.035	1046	.346		
Total	2616.963	1064			
Corrected Total	749.375	1063			

a R Squared = .517 (Adjusted R Squared = .509)

ตารางที่ 21. ANOVA ของการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: sli

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.640(a)	17	.214	19.838	.000
Intercept	48.767	1	48.767	4517.782	.000
protein	3.200	2	1.600	148.228	.000
lipid	.102	1	.102	9.486	.006
carbo	.127	2	.064	5.884	.011
protein * lipid	.004	2	.002	.163	.851
protein * carbo	.124	4	.031	2.871	.053
lipid * carbo	.029	2	.015	1.344	.286
protein * lipid * carbo	.054	4	.014	1.259	.322
Error	.194	18	.011		
Total	52.602	36			
Corrected Total	3.835	35			

a R Squared = .949 (Adjusted R Squared = .901)

ตารางที่ 22. ANOVA ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.095(a)	17	.770	31.929	.000
Intercept	52.104	1	52.104	2159.765	.000
protein	11.325	2	5.663	234.716	.000
lipid	.156	1	.156	6.467	.020
carbo	.879	2	.440	18.224	.000
protein * lipid	.032	2	.016	.655	.531
protein * carbo	.445	4	.111	4.612	.010
lipid * carbo	.118	2	.059	2.455	.114
protein * lipid * carbo	.139	4	.035	1.445	.260
Error	.434	18	.024		
Total	65.634	36			
Corrected Total	13.529	35			

a R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .938)

ตารางที่ 23. ANOVA **ของอัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: slr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.100(a)	17	.006	18.310	.000
Intercept	1.369	1	1.369	4248.310	.000
protein	.087	2	.044	135.336	.000
lipid	.003	1	.003	7.759	.012
carbo	.004	2	.002	6.698	.007
protein * lipid	.000	2	7.50E-005	.233	.795
protein * carbo	.004	4	.001	2.922	.050
lipid * carbo	.001	2	.000	1.112	.350
protein * lipid * carbo	.002	4	.000	1.267	.319
Error	.006	18	.000		
Total	1.475	36			
Corrected Total	.106	35			

a R Squared = .945 (Adjusted R Squared = .894)

ตารางที่ 24. ANOVA **ของอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต**

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: wr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.364(a)	17	.021	31.929	.000
Intercept	1.447	1	1.447	2159.765	.000
protein	.315	2	.157	234.716	.000
lipid	.004	1	.004	6.467	.020
carbo	.024	2	.012	18.224	.000
protein * lipid	.001	2	.000	.655	.531
protein * carbo	.012	4	.003	4.612	.010
lipid * carbo	.003	2	.002	2.455	.114
protein * lipid * carbo	.004	4	.001	1.445	.260
Error	.012	18	.001		
Total	1.823	36			
Corrected Total	.376	35			

a R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .938)

ตารางที่ 25. ANOVA ของค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: fcr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6022.750(a)	17	354.279	9.808	.000
Intercept	13247.021	1	13247.021	366.728	.000
formulate	6022.750	17	354.279	9.808	.000
Error	650.200	18	36.122		
Total	19919.971	36			
Corrected Total	6672.950	35			

a R Squared = .903 (Adjusted R Squared = .811)

ตารางที่ 26. ANOVA ของค่าอัตราการเปลี่ยอาหารเป็นเนื้อของหอยหวานในแต่ละระดับโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: fcr

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6022.750(a)	17	354.279	9.808	.000
Intercept	13247.021	1	13247.021	366.728	.000
protein	4941.157	2	2470.579	68.395	.000
lipid	153.072	1	153.072	4.238	.054
carbo	122.711	2	61.356	1.699	.211
protein * lipid	148.627	2	74.313	2.057	.157
protein * carbo	238.871	4	59.718	1.653	.205
lipid * carbo	154.010	2	77.005	2.132	.148
protein * lipid * carbo	264.301	4	66.075	1.829	.167
Error	650.200	18	36.122		
Total	19919.971	36			
Corrected Total	6672.950	35			

a R Squared = .903 (Adjusted R Squared = .811)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุกัญญา จันทร์งาม เกิดเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2526 จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา วิชาเอกสัตววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย