

สมการชีวพลังงานของหอยเป๋าฮื้อไทยชนิด *Haliotis asinina* L. ^{๘๕} ทดลองแบบ
การทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

ENERGY BUDGET EQUATIONS OF THAI ABALONE, *Haliotis asinina* L.,
REARING IN LAND-BASE FARM UNDER SEMI-CLOSED
RECIRCULATING SYSTEM

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์
NUTTARIN SIRIRUSTANANUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-AG-M-031-203

สมการชีวพลังงานของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *Haliotis asinina* L. ที่เลี้ยงแบบ
การทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

ENERGY BUDGET EQUATIONS OF THAI ABALONE, *Haliotis asinina* L.,
REARING IN LAND-BASE FARM UNDER SEMI-CLOSED
RECIRCULATING SYSTEM



ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์

NUTTARIN SIRIRUSTANANUN

ฉพ.
พ ๒๕๑ ๘
๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 81343
วัน,เดือน,ปี..... 11 อ.ย. 2551

b..... 11930676
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

**ENERGY BUDGET EQUATIONS OF THAI ABALONE, *Haliotis asinina* L.,
REARING IN LAND-BASE FARM UNDER SEMI-CLOSED
RECIRCULATING SYSTEM**

NUTTARIN SIRIRUSTANANUN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN FISHERIES SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

MKITL-2008-AG-M-081-203

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมการชีวพลังงานของหอยเป่าชื่อไทยชนิด <i>Haliotis asinina</i> L. ที่เลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด
นักศึกษา	นางสาวฉัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์
รหัสประจำตัว	48065902
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การประมง
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.มณฑล แก่นมณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ. ดร. เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาถึงสมการชีวพลังงานของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. asinina* ที่เลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด โดยศึกษาถึงค่าต่างๆในสมการชีวพลังงานที่ประกอบด้วย ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร อัตราบริโภคนอกอซิเจน และอัตราขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. asinina* 3 ขนาด (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.22 ± 0.13 , 3.27 ± 0.027 และ 4.16 ± 0.056 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 2.14 ± 0.47 , 7.51 ± 0.21 และ 19.29 ± 0.95 กรัม ตามลำดับ) โดยกินอาหารสำเร็จที่มีระดับโปรตีน 27.9 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในสภาวะอุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส ความเค็ม 31 ± 1 ส่วนในพันส่วน ผลจากการศึกษาพบว่า อัตราการกินอาหารของหอยเป่าชื่อมีค่าอยู่ในช่วง 0.51 ถึง 0.75 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 65.87 ถึง 73.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการกินอาหาร และประสิทธิภาพการย่อยอาหารจะลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น สำหรับประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารของหอยทั้ง 3 ขนาดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.04 เปอร์เซ็นต์ หอยแต่ละขนาดได้รับพลังงานในแต่ละวันเท่ากับ 161.21, 358.03 และ 939.52 จูล โดยปริมาณพลังงานที่ได้รับมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ถูกใช้ในการบริโภคนอกอซิเจน (56.01 ถึง 79.13 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่การใช้พลังงานเพื่อการขับถ่ายแอมโมเนียมีเพียง 1.41 ถึง 3.19 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานที่เหลือสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 18.35 ถึง 40.79 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด พลังงานในส่วนนี้จะถูกแบ่งใช้ในการผลิตเมือก และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของร่างกาย ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดสามารถนำมาใช้เพื่อการพัฒนาคุณภาพอาหารให้มีปริมาณพลังงานเพียงพอต่อความต้องการ และยังสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการระบบเลี้ยงที่ส่งเสริมให้การเพาะเลี้ยงหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. asinina* ประสบความสำเร็จ

Thesis Title	Energy Budget Equations of Thai Abalone, <i>Haliotis asinina</i> L., Rearing in Land-Base Farm under Semi-Closed Recirculating System
Student	Miss. Nuttarin Sirirustananun
Student ID.	48065902
Degree	Master of Science Program
Program	Fisheries Science
Year	2008
Thesis Advisor	Dr. Monthon Ganmanee
Co-Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Padermsak Jarayabhand

ABSTRACT

In the present study of energy budget equations of Thai abalone, *Haliotis asinina* L., rearing in land-base farm under semi-closed recirculating system measured energy budget parameters consist of feeding intake, food digestibility, absorption efficiency, oxygen consumption and ammonia excretion in 3 size classes (average shell length of 2.22 ± 0.13 , 3.27 ± 0.027 and 4.16 ± 0.056 cm and average wet weight of 2.14 ± 0.47 , 7.51 ± 0.21 and 19.29 ± 0.95 respectively). These abalones fed with artificial diet (ca. 27.9% protein) and held at 28 ± 1 °C, 31 ± 1 ppt. Results of the study showed that the daily feeding intake decreased with size ranging from 0.51-0.76% of wet weight. Digestibility decreased with size ranging from 65.87-73.5% but absorption efficiency was similar with size classes that averaged 81.04% so that the abalone in each size class had got energy from artificial diet of 161.21, 358.03 and 939.52 J.d⁻¹. More than 50% of the obtained energy was used for metabolism (ranging from 56.01-79.13%) whereas energy used for ammonia excretion was low (ranging from 1.41-3.19%). Scope for growth of the abalone varied between size class ranging from 18.35-40.79% of obtained energy. Energy for growth was divided out to mucous production and reproductive system. The data obtained in this study was used to improve artificial diet quality and application for semi-closed recirculating system management to succeed of abalone cultured.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับความเมตตาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา เป็นอย่างสูงที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และการดูแลมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คร.มณฑล แก่นมณี เป็นอย่างสูงที่ได้ให้โอกาสให้ความช่วยเหลือ และการติดตามการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด พร้อมทั้งการให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ ตลอดจนคำสอนที่ล้วนเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ. ดร. เสดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์ ที่ได้ให้การติดตามการทำวิทยานิพนธ์ และคำแนะนำต่างๆ ในแก้ไขเนื้อหาของวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ รศ. ดร. วีรพงศ์ วุฒิปันธุ์ชัย ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขเนื้อหาของวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ปวีณา ทวีกิจการ อาจารย์ ศรีสกุล วรจันทร์ และอาจารย์ สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ ที่ได้คำแนะนำในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งการให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ และขอขอบคุณ คุณนิพนธ์ จิตดำเนิน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านยานพาหนะ

ขอขอบคุณเพื่อน สิริพงษ์ วงศ์พรประทีป, สุธาสินี ภัยชนะ และน้องๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้

ในสุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อนุกรมวิธานของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i>	4
2.2 ลักษณะภายนอก และภายในของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i>	7
2.3 ชีววิทยา และนิเวศวิทยาของหอยเป่าชื่อไทย.....	7
2.4 เทคนิคการเพาะเลี้ยงหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i>	10
2.5 ความสำคัญของชีวพลังงาน.....	13
2.6 การศึกษาชีวพลังงานในหอยเป่าชื่อ.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 การเตรียมการทดลอง.....	16
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	19
3.3 การรวบรวมข้อมูล.....	21
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	27
4.1 ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร.....	29
4.2 อัตราการบริโภคนอกซีเงิน.....	30
4.3 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย.....	31
4.4 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย.....	32
4.5 พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต.....	33
บทที่ 5 การวิจารณ์ผล.....	32
5.1 ปริมาณการกินอาหาร	34
5.2 ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร.....	35
5.3 อัตราการบริโภคนอกซีเงิน.....	36
5.4 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย.....	37
5.5 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย.....	38
5.6 พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต.....	39
5.7 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต.....	42
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	44
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง.....	53
ภาคผนวก ข. ภาพถ่ายอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	68
ภาคผนวก ค. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์สาร และวิธีการวิเคราะห์ คุณภาพน้ำที่สำคัญบางตัว.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะพื้นฐานวิทยา แหล่งที่อยู่อาศัย การแพร่กระจาย และความอุดมสมบูรณ์ของหอยเป่าฮื้อในประเทศไทย.....	8
2.2 ระยะเวลาในการพัฒนาตัวอ่อนของ <i>H. asinina</i>	10
4.1 องค์ประกอบของอาหารสำเร็จที่ใช้ในการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อ.....	27
4.2 ประสิทธิภาพการย่อย การดูดซึมอาหาร และพลังงานที่ได้รับในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด.....	30
4.3 อัตราการบริโภคออกซิเจน และพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจนในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด.....	30
4.4 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย และพลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด.....	31
4.5 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย.....	33
5.1 สัดส่วนของอัตราการบริโภคออกซิเจนกับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (O:N ratio) ของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> แต่ละขนาด.....	38
5.2 การจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยเป่าฮื้อ และหอยฝาเดียวชนิดอื่นๆ.....	40
5.3 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือกของหอยเป่าฮื้อ และหอยฝาเดียวชนิดต่างๆ.....	41
5.4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อชนิด <i>H. asinina</i> และหอยชนิดต่างๆ.....	42
6.1 การจัดสรรพลังงานของร่างกายจากพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมดในหอยเป่าฮื้อไทยชนิด <i>H. asinina</i> แต่ละขนาด.....	45

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเหงือก และการหมุนเวียนน้ำ และเลือดผ่านเหงือก.....	5
2.2 ลักษณะภายนอกของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i>	7
2.3 ลักษณะภายในของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i>	7
2.4 ภาพถ่ายรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับเลี้ยงหอยเป่าชื่อ <i>H. asinina</i> ในระยะ juvenile.....	12
2.5 ภาพถ่ายรูปทรงกลมสำหรับเลี้ยงหอยเป่าชื่อ <i>H. asinina</i> ในระยะ juvenile.....	13
3.1 ด้านหน้าของระบบเลี้ยงหอยเป่าชื่อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด.....	17
3.2 ด้านหลังของระบบเลี้ยงหอยเป่าชื่อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด.....	17
3.3 หอยเป่าชื่อไทยชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร.....	18
3.4 หอยเป่าชื่อไทยชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร.....	18
3.5 หอยเป่าชื่อไทยชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร.....	19
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลือก (เซนติเมตร) กับน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร.....	28
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด (กรัม) กับน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของหอยเป่าชื่อ ชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร.....	28
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณการกินอาหาร (กรัม/น้ำหนักแห้งของอาหาร ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน)ของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร.....	29
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน) กับขนาด ของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร.....	31
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจนแอมโมเนีย ต่อลิตรต่อวัน) กับขนาดของหอยเป่าชื่อชนิด <i>H. asinina</i> ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร.....	32
4.6 ผลงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (growth efficiency) ของหอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยเป่าชื่อเป็นหอยฝาเดียวที่พบแพร่กระจายตามแนวชายฝั่งของทั่วโลกจากเขตร้อนถึงเขต
อบอุ่น ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึงน้ำลึกที่ระดับความลึกประมาณ 100 เมตร (Hone and Fleming.
1997) หอยชนิดนี้ถือว่าเป็นสัตว์ทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง จากสถิติในปี 2004
จนถึง 2007 พบว่าได้มีผลผลิตของหอยเป่าชื่อเข้าสู่ตลาดโลกประมาณ 18,000 เมตริกตัน โดยตลาดที่
ใหญ่ที่สุดในโลกอยู่ในแถบเอเชียโดยเฉพาะประเทศจีน และได้หวนซึ่งมีสัดส่วนการบริโภคมากถึง
80 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตหอยเป่าชื่อทั้งหมด นอกจากนั้นยังมีตลาดอยู่ในประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และ
ประเทศในแถบทวีปยุโรป สำหรับประเทศผู้ผลิตหอยเป่าชื่อรายใหญ่ คือ ประเทศจีน ซึ่งมีกำลัง
การผลิตมากถึง 5,000 เมตริกตันต่อปี ส่วนประเทศผู้ผลิตรองลงมาได้แก่ ญี่ปุ่น ได้หวน
สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ซิติ แอฟริกาใต้ ไอร์แลนด์ ประเทศในแถบมหาสมุทร
แปซิฟิก และประเทศในแถบทวีปยุโรป (Fishtech. 2007)

ทั่วโลกมีหอยเป่าชื่ออยู่ประมาณ 100 ชนิด ชนิดที่มีขนาดใหญ่ส่วนมากแพร่กระจายในเขต
อบอุ่น ส่วนขนาดเล็กพบได้ในเขตร้อน (Hahn. 1989 ; Regional Seafarming Development and
Demonstration Project. 1990 ; Jarayabhand and Paphavasit. 1996 ; Hone and Fleming. 1997) โดย
หอยเป่าชื่อที่มีความสำคัญทางการค้ามีอยู่ 14 ชนิด ในอดีตผลผลิตหอยเป่าชื่อที่ออกสู่ตลาดจะ
มาจากการจับจากธรรมชาติ และเนื่องจากปัญหาความเสื่อมโทรมของแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ
ปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม และการทำการประมงเกินกำลังการผลิต (overfishing) จึงทำให้ผลผลิต
ของหอยเป่าชื่อที่จับได้จากธรรมชาติลดลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์เหลือ 5 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 25 ปีที่
ผ่านมา ประกอบกับความต้องการในการบริโภคหอยเป่าชื่อที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลผลิตจากธรรมชาติ
ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากสถิติในปี 2004 จนถึง 2007 พบว่าปริมาณความต้องการหอยเป่าชื่อ
ในตลาดโลกเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ (Fishtech. 2007) ดังนั้นวิธีการในการเพิ่ม
ผลผลิตของหอยเป่าชื่อออกสู่ตลาด คือ การพัฒนาเทคนิค และวิธีการในการเพาะเลี้ยง โดยการ
เพาะเลี้ยงหอยเป่าชื่อได้เริ่มขึ้นเมื่อปลายทศวรรษ 1950 ในประเทศญี่ปุ่น จากนั้นได้มีการศึกษา
ค้นคว้าอย่างต่อเนื่องจนถึงปี 1960 จึงประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบการเพาะฟักเพื่อผลิต
หอยเป่าชื่อในระยะ juvenile (Leighton. 2000)

สำหรับประเทศไทยมีรายงานว่าพบหอยเป่าชื่อในธรรมชาติจำนวนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่
Haliotis asinina, *H. ovina* และ *H. varia* โดยหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* พบ
แพร่กระจายอยู่ในทั้งฝั่งอ่าวไทย และทะเลอันดามัน ส่วน *H. varia* พบแพร่กระจายเฉพาะในทะเล

อินคามัน (Jarayabhand and Paphavasit. 1996) *H. asinina* เป็นหอยเป่าชื่อขนาดเล็กหรือที่เรียกว่า “cocktail size” ซึ่งได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์เมื่อไม่นานมานี้ เนื่องจากหอยเป่าชื่อสายพันธุ์นี้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักตัวมากถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจออกสู่ตลาดโลกได้เช่นเดียวกับหอยเป่าชื่อชนิด *H. diversicolor supertexta* ในไต้หวัน (Jarayabhand and Paphavasit. 1996) ซึ่งในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงหอยชนิดนี้ตั้งแต่ปี 1986 โดย Singhagruiwan and Doi (1993) หลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาเทคนิค และวิธีการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งหน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะและเลี้ยงหอยเป่าชื่อไทย สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เป็นผู้ริเริ่มจัดทำฟาร์มต้นแบบการเพาะเลี้ยงหอยเป่าชื่อชนิดนี้ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี และยาปฏิชีวนะทำให้ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Jarayabhand. unpublished data) แต่อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงให้ประสบความสำเร็จยังต้องการข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของหอยเป่าชื่อ *H. asinina* โดยการศึกษาทางด้านชีวพลังงานจะทำให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายต้องการได้รับจากอาหารเพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิต ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ตลอดจนการเจริญเติบโต และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของร่างกาย ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านจัดการทางโภชนาการทำให้ร่างกายได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ และมีการเจริญเติบโตที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ต่อการจัดการระบบเลี้ยงแบบกึ่งปิดที่มีการให้อาหารสำเร็จในการเลี้ยง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการย่อย การดูดซึมอาหาร และพลังงานที่ได้รับจากอาหารของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *Haliotis asinina* L. ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ซึ่งเลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด
2. ศึกษาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการหายใจ การขับถ่ายแอมโมเนีย และการเจริญเติบโตของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *Haliotis asinina* L. ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ซึ่งเลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด
3. สร้างสมการชีวพลังงานของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *Haliotis asinina* L. ที่เลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างทั้งปัจจัยภายนอก และปัจจัยภายในร่างกาย ปัจจัยภายนอกที่สำคัญได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ส่วนปัจจัยภายใน คือ เพศ อายุ ขนาด และวงจรการสืบพันธุ์ ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยตรง ในสภาพที่มีการควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การตอบสนองทางสรีรวิทยาขั้นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตได้แก่ การกินอาหาร การหายใจ การขับถ่ายแอมโมเนีย และการเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับอายุหรือขนาด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองทางสรีรวิทยาจะมีผลต่อความต้องการพลังงานของร่างกายเมื่อสิ่งมีชีวิตมีขนาดหรืออายุเพิ่มขึ้น อัตราการกินอาหาร อัตราการหายใจ และการขับถ่ายแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงตามขนาด

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาถึงการนำเข้า และการจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยแต่ละขนาด ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการชีวพลังงาน โดยเริ่มจากการศึกษาอัตราการกินอาหารเพื่อให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับในแต่ละวัน และการนำพลังงานที่ได้รับมาใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ การหายใจ และการขับถ่ายแอมโมเนีย ซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่เหลือที่ร่างกายต้องใช้ในการเจริญเติบโต, การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ และการผลิตเมือก โดยข้อมูลดังกล่าวได้จากการศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด นอกจากนั้นศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราทางสรีรวิทยาต่างๆ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาปริมาณการกินอาหารในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาดเพื่อให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับในแต่ละวัน
2. ศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด และคำนวณกลับเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจน
3. ศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด และคำนวณกลับเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนีย
4. นำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณค่าพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของหอยแต่ละขนาด
5. แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในรูปของสมการชีวพลังงาน และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราทางสรีรวิทยาต่างๆ

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หอยเป่าชื่อเป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทหอยฝาเดียว ซึ่งมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า แอบะโลนี (Abalone) การจัดลำดับทางอนุกรมวิธานของหอยเป่าชื่อมีดังนี้

อาณาจักร (Phylum) Mollusca

ชั้น (Class) Gastropoda

ชั้นย่อย (Subclass) Prosobranchia

อันดับ (Order) Archaeogastropoda

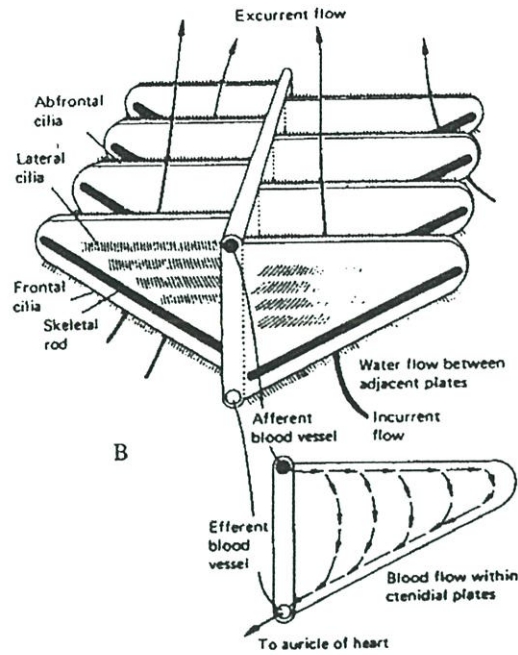
ครอบครัว (Family) Haliotidae

สกุล (Genus) *Haliotis*

2.1 อนุกรมวิธานของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina*

2.1.1 อาณาจักรมอลลัสกา

สัตว์ในอาณาจักรมอลลัสกามีลำตัวที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม ไม่มีข้อปล้อง ซึ่งประกอบด้วยอวัยวะภายในต่างๆ ที่ถูกหุ้มด้วยผนังตัว (visceral mass) ผนังตัวทางด้านหน้ามีการพัฒนาไปเป็นส่วนหัวทำหน้าที่ในการกินอาหาร และรับความรู้สึก ผนังตัวด้านท้องพัฒนาเป็นเท้าใช้ประโยชน์ในการเคลื่อนที่ หัวกับเท้ามีลักษณะเชื่อมกัน ผนังลำตัวทางด้านหลังเจริญขึ้นออกเป็นแผ่นเยื่อคลุมตัวที่เรียกว่า แมนเทิล (mantle) หรือพาลเลียม (pallium) มีหน้าที่ในการสร้างเปลือก โพรงที่อยู่ระหว่างเยื่อแมนเทิลกับลำตัวคือ โพรงแมนเทิล (mantle cavity) หรือโพรงพาลเลียม (pallial cavity) ซึ่งเป็นที่เกิดของเหงือก โดยเหงือกแต่ละข้างประกอบด้วยแกนเหงือก (gill axis) ที่มีลักษณะแบนยาวยื่นไปจากผนังด้านหน้าของแมนเทิล ด้านข้าง 2 ข้างมีแขนงรูปสามเหลี่ยมหรือรูปกลมคือ ซี่เหงือก (gill filament) เจริญออกไปเป็นแผ่นในลักษณะสลับหว่างกัน (ภาพที่ 2.1) ตัวเหงือกจะถูกยึดด้วยเยื่อยึดทั้งด้านท้อง และด้านหลังของแกนเหงือกซึ่งจะไปยึดกับด้านข้าง และกึ่งกลางด้านหลังของโพรงแมนเทิล จากตำแหน่งของเหงือกสามารถแบ่งโพรงแมนเทิลออกเป็น 2 ตอนคือ ด้านท้องของแกนเหงือกซึ่งเป็นโพรงนำผ่านเข้า (inhalant chamber) และโพรงด้านหลังเหงือก (exhalant chamber) เป็นโพรงรวมน้ำเพื่อส่งน้ำออกนอกตัว ภายในโพรงแมนเทิลนี้จะมีทวารหนัก รูขับถ่าย และรูสืบพันธุ์ มาเปิดสู่โพรงแมนเทิลรวมด้วย (บพิช จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์, 2546)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหงือก และการหมุนเวียนน้ำ และเลือดผ่านเหงือก

ที่มา : บพิช จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์ (2546)

ระบบย่อยอาหารของสัตว์ในอาณาจักรมอลลัสกามีการพัฒนาดี มีท่อทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ (complete digestive tract) ซึ่งประกอบด้วย ปาก หลอดอาหาร กระเพาะ ลำไส้ และทวารหนัก ในอุ้งปากมีอวัยวะตัด และบดที่เรียกว่า แรดูลา (radula) ระบบหมุนเวียนเลือดเป็นแบบเปิด ประกอบด้วยหัวใจ เส้นเลือด และโพรงเลือด หัวใจประกอบด้วยออริเคิล (auricle) 1 หรือ 2 ห้อง และเวนทริเคิล (ventricle) 1 ห้อง เลือดมีรงควัตถุเป็นสีน้ำเงินฮีโมไซยานิน (hemocyanin) แต่บางชนิดมีรงควัตถุสีแดงฮีโมโกลบิน (hemoglobin) การแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดขึ้นที่เหงือก และแมนเทิล

2.1.2 ชั้นแกสโตรโพดา

เป็นมอลลัสก์ที่มีเปลือก 1 ชั้น บางกลุ่มอาจมีการลดขนาดหรือเสื่อมหายไป เปลือกมีการขดเป็นวง 2 แบบคือ การขดในระนาบเดียว (planospiral shell) หรือการขดแบบก้นหอย (conispiral coiling) ลำตัวมีการเกิดการหมุนของลำตัว (torsion) ในระยะวัยลิวเจอร์ (veliger) ซึ่งเกิดกับผนังตัว (visceral mass) ที่อยู่เหนือเท้าที่มีโพรงแมนเทิลอยู่ท้ายตัว โดยลำตัวจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา 180 องศา ทำให้โพรงแมนเทิลรวมทั้งเหงือก ทวารหนัก และรูขับถ่ายมาอยู่ทางด้านหน้าเหนือหัว ส่วนอวัยวะภายในได้แก่ ท่อทางเดินอาหารจะหมุนตัวเป็นรูปตัวยู หลอดอาหารที่เปิดเข้าด้านหน้าของกระเพาะจะม้วนไปอยู่ท้ายตัว ระบบประสาทบดตัวเป็นเลขแปด ซึ่งเป็นการวิวัฒนาการในการเกิดความสมมาตรของร่างกาย นอกจากนั้นทำให้น้ำเข้าโพรงแมนเทิลได้ง่าย

ส่วนหัวแยกออกจากเท้าชัดเจนประกอบด้วยปาก อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการกิน และอวัยวะรับความรู้สึกคือ ตา และหนวด ซึ่งตาอาจอยู่ที่บริเวณปลายหรือฐานหนวด ทำมีขนาดใหญ่ลักษณะเป็น

แผ่นแบน และกว้าง ใตมี 1 คู่ หรืออาจลดเหลือข้างขวาเพียงข้างเดียว หัวใจประกอบด้วยอริเคลิต (auricle) 1 หรือ 2 ห้อง ระบบสืบพันธุ์มีทั้งแบบแยกเพศ และเพศรวม

2.1.3 ชั้นย่อยโพรโซบรานเชียร์

เป็นกลุ่มหอยที่มีเหงือก 1 คู่ ซึ่งอยู่ด้านหน้าของหัวใจ และอาจมีการลดรูปเหลือเพียงข้างเดียว หัวใจมีอริเคลิต (auricle) 1 ห้อง ท่อไตมีด้านขวาด้านเดียว การสืบพันธุ์เป็นแบบแยกเพศ ซึ่งต่างจากชั้นย่อยอื่นๆ ตัวอย่างหอยที่อยู่ในชั้นย่อยนี้ได้แก่ หอยหมวกจีน หอยเป่าสี้อ หอยฝาเดียวในทะเล หอยฝาเดียวน้ำจืดที่มีแผ่นปิดเท้า (operculum) และหอยทากบกที่มีแผ่นปิดเท้า (operculum)

2.1.4 อันดับอาซีโอแกสโทรโทคา

เป็นกลุ่มหอยปัจจุบันที่โบราณที่สุด เหงือกมีลักษณะของซี่เหงือก 2 ด้าน (bipectinate) และมีโครงร่างค้ำจน

2.1.5 ครอบคร้วฮาลีโอทิดี

มีลักษณะของอวัยวะภายใน และเปลือกแบนลงอย่างชัดเจน

2.1.6 สกุลฮาลีโอทิด

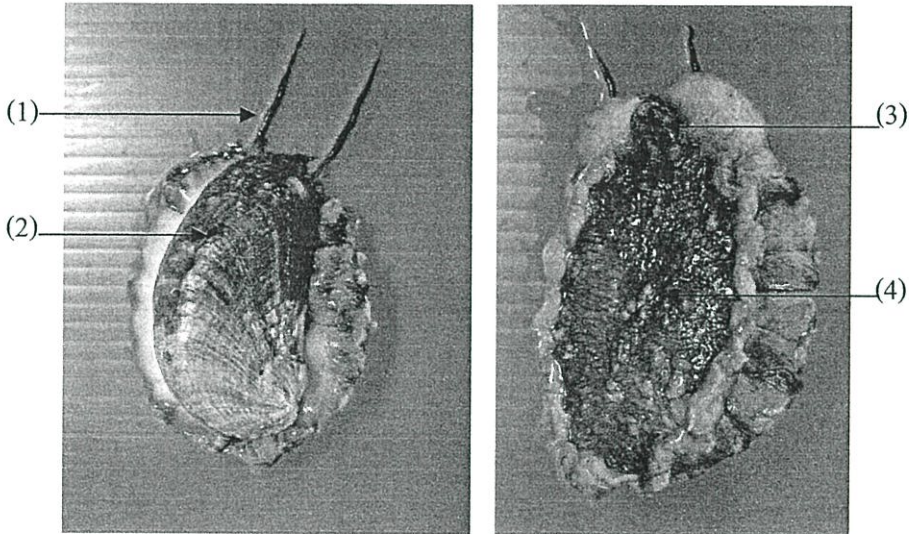
บริเวณเปลือกมีรูหายใจทางด้านซ้ายของลำตัวอย่างน้อย 1 รู เหงือกมีลักษณะแบบขนนก และมีการลดรูปในทางด้านขวา มีมัดกล้ามเนื้อหัดเท้า 1 คู่ แต่มัดทางด้านซ้ายมีขนาดเล็ก โพรงแมนเทิลถูกกล้ามเนื้อยึดเปลือกเบียดมาทางด้านซ้ายของลำตัว

2.1.7 ชนิดอะลีนินา

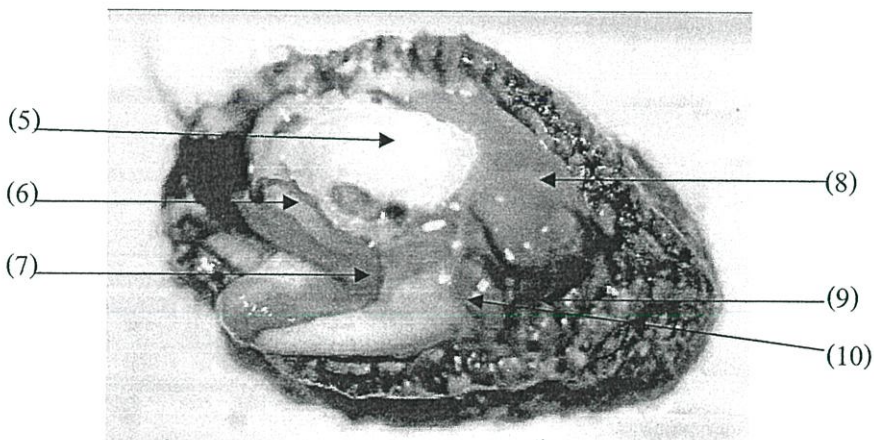
เปลือกมีลักษณะยาวรี (elongate) มีรูหายใจ 6-7 รู (Jarayabhand and Paphavasit. 1996)

2.2 ลักษณะภายนอก และภายในของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina*

ลักษณะภายนอกของหอยเป่าชื่อแสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย หนวด(1), รูหายใจ(2), ปาก(3) และ กล้ามเนื้อเท้า(4) ส่วนลักษณะภายในประกอบด้วย กล้ามเนื้อยึดเปลือก(5), เหงือก(6), รุทวาร(7), อวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์(8), ระบบย่อยอาหาร(9) และหัวใจ(10) แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 ลักษณะภายนอกของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina*



ภาพที่ 2.3 ลักษณะภายในของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina*

2.3 ชีววิทยา และนิเวศวิทยาของหอยเป่าชื่อไทย

2.3.1 สัณฐานวิทยา พฤติกรรม แหล่งที่อยู่อาศัย การแพร่กระจาย และความอุดมสมบูรณ์

ลักษณะสัณฐานวิทยาของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. asinina* มีความแตกต่างจากหอยเป่าชื่อไทยอีก 2 ชนิดอย่างชัดเจน โดยรูปร่างของเปลือกเป็นแบบยาวรี (elongate) มีสีเขียวอมน้ำตาล ในขณะที่ชนิด *H. ovina* และ *H. varia* มีรูปร่างของเปลือกค่อนข้างกลม (oval) สีเทาของ *H. asinina* มีสีเทา

ส่วน *H. ovina* และ *H. varia* มีสีครีมถึงสีส้ม จำนวนรูหายใจจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดซึ่ง *H. asinina* มีรูหายใจ 6-7 รู ส่วน *H. ovina* และ *H. varia* จะมีรูหายใจจำนวน 4-6 และ 3-5 รู ตามลำดับ (Jarayabhand and Paphavasit, 1996) (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยา แหล่งที่อยู่อาศัย การแพร่กระจาย และความอุดมสมบูรณ์ของ หอยเป่าฮือในประเทศไทย

รายละเอียด	<i>H. asinina</i>	<i>H. ovina</i>	<i>H. varia</i>
<u>สัณฐานวิทยา</u>			
รูปร่างของเปลือก	ขาวรี	ค่อนข้างกลม	ค่อนข้างกลม
สีเปลือก	น้ำตาลอมเขียว	เขียวมะกอก	น้ำตาลอมดำ
ลักษณะเปลือก	ขดเป็นวง	ขดเป็นวงชัดเจน	ขดเป็นวง
ความหนา	น้อย	มาก	ปานกลาง
จำนวนรูหายใจ	6-7 รู ขอบเรียบ	4-6 รู ขอบนูนชัดเจน	3-5 รู ขอบนูนเล็กน้อย
สีเท้า	สีเทา	สีครีมถึงส้ม	สีครีมถึงส้ม
<u>ตัวเลขสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์</u>			
ความยาวกับน้ำหนัก	3.225	3.034	2.705
ความยาวกับความกว้าง	0.527	0.716	0.687
<u>ขนาดสูงสุด</u>			
ความยาวเปลือก(มม.)	100	80	60
น้ำหนัก (ก.)	250-280	75	25
<u>แหล่งที่อยู่อาศัย</u>			
บริเวณ	เขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึง เขตน้ำลงต่ำสุด	เขตน้ำลงต่ำสุด	เขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึง เขตน้ำลงต่ำสุด
พื้นที่องน้ำ	หิน, ซากปรังที่ตาย	หิน	หิน
ความลึก (ม.)	1-7	1-7	1-7
<u>การแพร่กระจาย</u>			
ทะเลอ่าวไทย	ชลบุรี, ระยอง	ชลบุรี, ระยอง	-
ทะเลอันดามัน	ภูเก็ต	ระนองถึงสตูล	ระนองถึงสตูล
<u>ความอุดมสมบูรณ์</u>			
ทะเลอ่าวไทย	น้อย	มาก	-
ทะเลอันดามัน	น้อย	ปานกลาง	มาก

ที่มา : Jarayabhand and Paphavasit (1996)

หอยเป่าฮื้อไทยทั้งสามชนิดจะอาศัยอยู่บริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงจนถึงเขตน้ำลงต่ำสุดซึ่งมีระดับความลึกตั้งแต่ 1-7 เมตร พื้นที่องน้ำมีลักษณะเป็นหินหรือซากปะการังต่างๆ ในบริเวณดังกล่าวนี้สามารถพบได้ในทะเลอันดามัน และอ่าวไทย ในทะเลอันดามันจะพบหอยเป่าฮื้อในแถบจังหวัดภูเก็ต ระนอง และสตูล ซึ่งพบชนิด *H. varia* มากที่สุดรองลงมาคือชนิด *H. ovina* และ *H. asinina* ตามลำดับ สำหรับในอ่าวไทยจะพบที่บริเวณเกาะทางตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนซึ่งได้แก่จังหวัดชลบุรี และระยอง โดยพบชนิด *H. ovina* มากกว่า *H. asinina* ส่วนชนิด *H. varia* นั้นจะไม่พบในอ่าวไทย

หอยเป่าฮื้อมีพฤติกรรมหากินในตอนกลางคืนทั้งในธรรมชาติ และโรงเพาะฟัก ในช่วงเวลากลางวันจะหลบอยู่ในที่กำบัง ส่วนเวลากลางคืนจะออกจากที่กำบัง หากินอาหาร และหลบตัวเมื่อรุ่งเช้า (Jarayabhand and Paphavasit, 1996) การกินอาหารจะเริ่มเวลาประมาณ 17.00 นาฬิกา และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 17.00 ถึง 19.00 นาฬิกา เมื่อถึง 23.00 นาฬิกา การกินอาหารจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงรุ่งเช้า ซึ่งช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการกินอาหารจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงระยะเวลาในการกินอาหารจะนานขึ้น เช่น ในหอยเป่าฮื้อชนิด *H. discus hannai* จะหยุดกินอาหารเมื่อเวลา 23.00 นาฬิกา ที่อุณหภูมิ 12.5 องศาเซลเซียส, 01.00 นาฬิกา ที่ 17.2 องศาเซลเซียส และ 03.00 นาฬิกา ที่ 22.7 องศาเซลเซียส (Hahn, 1989) นอกจากนั้นอุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อปริมาณการกินอาหารซึ่งอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นการกินอาหารจะมากขึ้น

2.3.2 ชีววิทยาการสืบพันธุ์

การสืบพันธุ์ของหอยเป่าฮื้อเป็นการสืบพันธุ์แบบแยกเพศ และเกิดการผสมภายนอกตัว (external fertilization) ในระหว่างฤดูผสมพันธุ์สามารถแยกเพศได้อย่างชัดเจน จากการสังเกตสีของอวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gonad) ซึ่งเพศผู้เซลล์สืบพันธุ์มีสีขาวขุ่น ส่วนเพศเมียมีสีเขียวเข้ม หอยเป่าฮื้อไทยทั้ง 3 ชนิดสามารถผสมพันธุ์ได้ตลอดทั้งปีซึ่งจะสูงสุดในช่วงเดือนกันยายนถึงมีนาคม หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่กินอาหารธรรมชาติจะมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเป็นพ่อแม่พันธุ์ เมื่อมีขนาดความยาวเปลือก 5-9 เซนติเมตร ความคกไข่อยู่ที่ประมาณ $2-6 \times 10^7$ ฟอง ไข่ที่ได้รับการผสมจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 190 ไมครอน หลังจากไข่ได้รับการผสมก็จะมีการพัฒนาเป็นตัวอ่อนในระยะงเกาะ (Creeping larvae) ภายใน 2-3 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนเหมือนตัวเต็มวัยที่มีรูปร่างแรก (Juvenile stage) ภายใน 28 วัน ในสภาวะอุณหภูมิ 29 ถึง 30 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ระยะเวลาในการพัฒนาตัวอ่อนของ *H. asinina*

ระยะการพัฒนา	เวลา
ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิ	0
แบ่งเซลล์ครั้งที่ 1	15-25 นาที
แบ่งเซลล์ครั้งที่ 2	34-40 นาที
แบ่งเซลล์ครั้งที่ 3	43-75 นาที
โทรโคฟออร์ (trochophore)	4 ชั่วโมง 30 นาที
ฟักออกเป็นตัว	5 ชั่วโมง
วิลีเจอรระยะแรก (early veliger)	8-9 ชั่วโมง
วิลีเจอรระยะสุดท้าย (late veliger)	22 ชั่วโมง
ลูกหอยลงเกาะระยะแรก (early creeping larvae)	26 ชั่วโมง
ลูกหอยลงเกาะ (creeping larvae)	2-3 วัน
ลูกหอยตัวเต็มวัยระยะแรก (มีรูหายใจ 1-3 รู)	28 วัน

ที่มา : Jarayabhand and Paphavasit (1996)

2.4 เทคนิคการเพาะเลี้ยงหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina*

2.4.1 การผสมพันธุ์

การผสมพันธุ์ของหอยเป่าอื้อจะทำในห้องปรับเวลา โดยนำพ่อแม่พันธุ์แยกใส่ถังไฟเบอร์กลาสขนาด ความจุ 500 ลิตร ในอัตรา 150 – 200 ตัวต่อถัง อัตราส่วนของพ่อแม่พันธุ์คือ 1:1 หอยจะถูกปรับสภาพในห้องปรับเวลาเป็นระยะเวลา 1 วัน ก่อนทำการกระตุ้นให้ปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ วิธีการกระตุ้นคือ การถ่ายน้ำออกจากถัง และปล่อยไว้ไม่เกิน 10 นาที จากนั้นปล่อยน้ำเข้าถังให้ท่วมวัสดุหลบซ่อนประมาณ 1 นิ้ว หลังจากนั้นพ่อแม่พันธุ์จะเริ่มปล่อยเซลล์สืบพันธุ์โดยใช้เวลาประมาณ 20 - 30 นาที นำน้ำเชื้อในบ่อพ่อแม่พันธุ์มาผสมกับไข่ในบ่อแม่พันธุ์ ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิเหล่านี้จะย้ายมายังถังอนุบาล (Jarayabhand, unpublished data)

2.4.2 การอนุบาล

ภายในถังอนุบาลจะมีการให้อากาศอย่างเบาๆ เพื่อให้ตัวอ่อนมีการเคลื่อนไหว ลักษณะของถังอนุบาลเป็นถังกรวยไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ตัน อัตราความหนาแน่นคือ 5 แส่นฟองต่อถัง โทรโคฟออร์ (trochophore) ที่แข็งแรงจะว่ายอยู่ที่ผิวหน้าน้ำ ในระหว่างนี้ลูกหอยจะไม่กินอาหาร โดยใช้อาหารที่สะสมอยู่ในตัวเป็นแหล่งพลังงาน จากการศึกษาของ Moron and Manahan (2003) ในหอยเป่าอื้อชนิด *H. fulgens* และ *H. sorenseni* พบว่าแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ในตัวประกอบด้วยไขมัน 50 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ในการสูญเสียพลังงานดังกล่าวเกิด

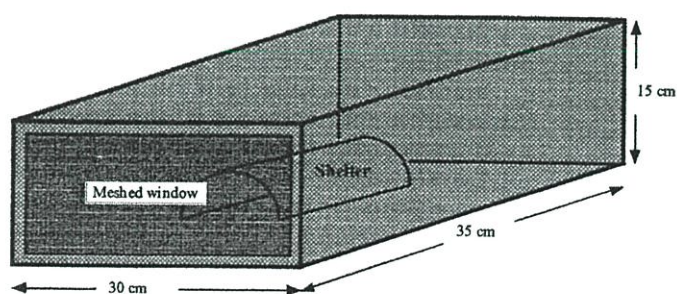
จากการเผาผลาญพลังงาน (metabolism) เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการพัฒนาการในแต่ละระยะ เมื่อตัวอ่อนมีการพัฒนาจนเข้าสู่ระยะลงเกาะก็จะทำการย้ายมายังถังสำหรับลงเกาะ ซึ่งจะมีแผ่นวัสดุหล่อที่ทำจากแผ่นพลาสติกใส และมี benthic diatom เคลือบอยู่ซึ่งอาจจะเป็นชนิด *Nitzschia spp.* หรือ *Navicula spp.* ในระยะนี้ลูกหอยจะเริ่มกิน benthic diatom และให้กินอย่างต่อเนื่องจนลูกหอยมีขนาดความยาวเปลือก 3-5 มิลลิเมตร (ใช้ระยะเวลาประมาณ 2 เดือนครึ่ง) จึงย้ายไปฝึกกินอาหารเม็ดในบ่ออาหารเม็ด และเลี้ยงต่ออีกประมาณ 3 เดือนจนมีขนาดความยาวเปลือก 2 เซนติเมตร (จักรพันธุ์ กังวาพ. 2548)

2.4.3 การเลี้ยง

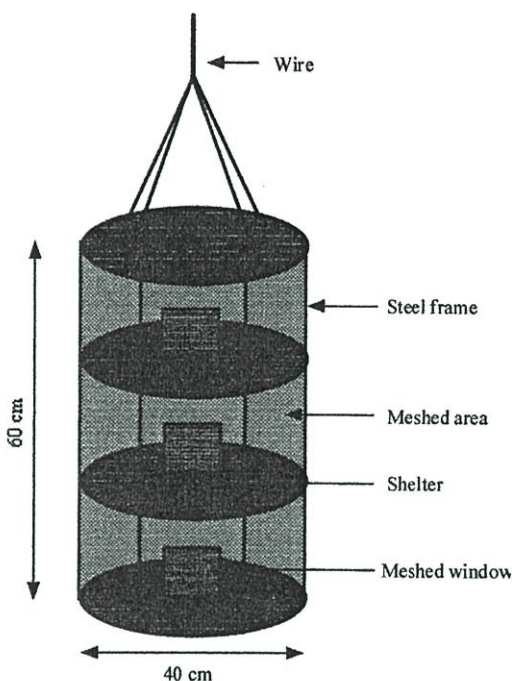
การเลี้ยงหอยเป่าอื้อเพื่อให้ได้ขนาดตลาด (4 เซนติเมตรขึ้นไป) จะใช้ระยะเวลาภายใน 1 ปี โดยเริ่มเลี้ยงจากลูกหอยเป่าอื้อที่มีขนาดความยาวเปลือก 1-2 เซนติเมตร ซึ่งสามารถกินสาหร่ายขนาดใหญ่หรืออาหารสำเร็จได้ ในประเทศไทยการเลี้ยง *H. asinina* นิยมให้สาหร่ายชนิด *Gracilaria salicornia* (red alga) เป็นอาหารซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต และรอดตายสูง (Singhagriwan and Doi. 1993) นอกจากนี้ยังมีการให้สาหร่ายชนิดอื่นๆ เช่น สาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva intestinalis* หรือ *Enteromorpha intestinalis* ในการเลี้ยง *H. asinina* และ *H. ovina* แต่เนื่องจากในบางฤดูกาลที่มีปริมาณสาหร่ายไม่เพียงพอจึงมีการทดลองใช้อาหารสำเร็จในการเลี้ยง ซึ่งอาหารสำเร็จที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง *H. asinina* ในระยะ juvenile ควรจะมีระดับของ โปรตีน 27 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต (ในโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก) 40 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ (metabolizable energy) ในอาหารเท่ากับ 3,150 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยอาหารสำเร็จดังกล่าวทำให้หอยมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าหอยที่กินอาหารธรรมชาติ หรืออาหารสำเร็จในสูตรทดลองอื่นๆ (Bautista-Teruel and Millamena. 1999) Bautista-Teruel *et al.* (2003) ได้ทำการทดลองใช้แหล่งโปรตีนจากพืช และสัตว์ในการทำอาหารสำเร็จที่มีระดับโปรตีน 27 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเลี้ยง *H. asinina* ในระยะ juvenile ซึ่งแหล่งโปรตีนได้แก่ ปลาป่น (fish meal, FM), กุ้งป่น (shrimp meal, SM), กากถั่วเหลืองป่นสกัดไขมัน (defatted soybean meal, DSM) และสาหร่ายชนิด *Spirulina sp.* (SP) ผลการทดลองพบว่าสูตรอาหารที่ใช้แหล่งโปรตีนผสมจากพืช และสัตว์ คือ ปลาป่น, กุ้งป่น, กากถั่วเหลือง และ ปลาป่น, กุ้งป่น และ *Spirulina sp.* ให้การเจริญเติบโตที่ดีกว่าสูตรอาหารที่ใช้แหล่งโปรตีนจากพืชเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้แหล่งโปรตีนจากพืช และสัตว์ร่วมกันในการทำอาหารสำเร็จเป็นสิ่งที่ดีที่สุด นอกจากนี้อาหารสำเร็จที่ใช้เลี้ยงไม่ควรมีปริมาณของไขมันมากเกินไปซึ่งปริมาณของไขมันที่สูงกว่า 5.83 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากปริมาณพลังงานในอาหารมีสูงส่งผลให้การกินอาหารลดลง การเจริญเติบโตจึงลดลง (Thongrod *et al.* 2003)

ในประเทศฟิลิปปินส์ได้มีการทดลองให้สาหร่ายร่วมกับอาหารสำเร็จ ซึ่งจากการศึกษาของ Capinpin and Corre (1996) พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่ได้กินสาหร่ายชนิด *Gracilariopsis heteroclada* ร่วมกับอาหารสำเร็จจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่วนหอยที่กินเฉพาะอาหารสำเร็จจะมีน้ำหนักมากกว่าหอยที่กินสาหร่าย แต่จากการสังเกตพบว่าหอยที่กินอาหารสำเร็จจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วง 90 วันแรก หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะลดลง เนื่องจากมีการนำพลังงานมาใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์สืบพันธุ์มากกว่าส่วนอื่นๆ ของร่างกาย ส่วนหอยที่กินสาหร่ายนั้นจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วหลังจาก 105 วัน ดังนั้นการให้อาหารเม็ดเพียงอย่างเดียวอาจไม่ให้เกิดผลดีเท่าที่ควรต่อการเลี้ยงหอยเป่าชื่อเป็นระยะเวลานานๆ เนื่องจากอาหารเม็ดอาจมีปริมาณพลังงานไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตในหอยที่มีอายุมากกว่า 90 วัน หรืออาจขาดแคลนสารอาหารที่จำเป็นบางตัว ซึ่งพบเฉพาะในสาหร่ายเท่านั้น

การเลี้ยงหอยเป่าชื่อในเชิงพาณิชย์มีอยู่ 2 ระบบ คือ การทำฟาร์มบนบก (landbased system) และการทำฟาร์มในทะเล (sea farming) (Chen, 1989) แต่ในประเทศไทยไม่มีการทำฟาร์มในทะเลเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่สาธารณะ ดังนั้นระบบเลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการเลี้ยงหอยเป่าชื่อในประเทศไทย (Jarayabhand and Paphavasit, 1996) จากการศึกษาของ Setyono (2005) พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* สามารถนำมาเลี้ยงบนบกในถังไฟเบอร์กลาสหรือเลี้ยงในทะเลโดยใช้วัสดุเลี้ยงที่ทำขึ้นจากตาข่าย ซึ่งจะนำตาข่ายมายึดติดกับโครงไม้หรือเหล็กที่ทำขึ้น โดยโครงสร้างของตาข่ายอาจทำเป็นรูปสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 2.4) หรือวงกลม (ภาพที่ 2.5) วัสดุดังกล่าวจะนำไปแขวนให้ต่ำกว่าระดับผิวน้ำโดยใช้แพช่วยพยุงไม่ให้จมน้ำ



ภาพที่ 2.4 ตาข่ายรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับเลี้ยงหอยเป่าชื่อ *H. asinina* ในระยะ juvenile
ที่มา : Setyono (2005)



ภาพที่ 2.5 คาข่ายรูปทรงกลมสำหรับเลี้ยงหอยเป่าฮือ *H. asinina* ในระยะ juvenile

ที่มา : Setyono (2005)

ภายในระบบเลี้ยงหอยเป่าฮือจะมีการใส่วัสดุหลบซ่อนเพื่อเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย เนื่องจากหอยเป่าฮือมีพฤติกรรมหลบซ่อนในตอนกลางวัน และไม่ชอบที่ๆมีแสงสว่าง โดยการใช้วัสดุหลบซ่อนที่ทำจากแผ่นพีวีซีที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ลักษณะหักงอตรงกลางเป็นมุม 90 องศาเป็นวัสดุหลบซ่อนมีผลให้อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด (ประพัทธ์พงศ์เพชรรัตน์ และคณะ. 2549) และเนื่องจากพบว่าหอยเป่าฮือ *H. asinina* มีพฤติกรรมที่ชอบอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม การเลี้ยงหอยในระยะ juvenile ที่ระดับความหนาแน่นสูงๆ มีผลทำให้ขนาดความยาวเปลือก และน้ำหนักมีมากกว่าหอยที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำ (Setyono. 2005) โดยการเลี้ยงหอยที่มีขนาดความยาวเปลือก 1 เซนติเมตร ให้เป็น 3 เซนติเมตร ที่ระดับความหนาแน่น 250 ตัวต่อตารางเมตร จะให้การเจริญเติบโตที่สูงกว่าหอยที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 500 ตัวต่อตารางเมตร และการเลี้ยงหอยขนาด 3 เซนติเมตร ให้เป็น 5 เซนติเมตร และจาก 5 เซนติเมตรให้เป็น 7 เซนติเมตร ควรเลี้ยงในระดับความหนาแน่น 125 และ 65 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ธนศ พุ่มทอง และคณะ. 2549)

2.5 ความสำคัญของชีวพลังงาน

การศึกษาในด้านชีวพลังงานเริ่มมีขึ้นในระหว่างปลายปี 1940 ถึงต้นปี 1950 โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในปลา และใน 4 ทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาทางด้านชีวพลังงานอย่างต่อเนื่อง

(Jobling. 1994) ชีวพลังงาน (Bioenergetic) เป็นการศึกษาถึงสมดุลของพลังงานระหว่างพลังงานที่นำเข้าสู่ร่างกายกับการนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (Halver and Hardy. 2002) นอกจากนั้นเป็นการศึกษาถึงสภาพทางสรีรวิทยาในแง่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Jobling. 1994)

การใช้พลังงานของสิ่งมีชีวิต สามารถแสดงได้โดยผลรวมของการตอบสนองทางสรีระขั้นพื้นฐาน เช่น การกินอาหาร การดูดซึมอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการเจริญเติบโตของร่างกาย (ผลผลิต) องค์ประกอบแต่ละตัวสามารถเปลี่ยนถ่ายทอดซึ่งกันและกันได้ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานนั้นจะมีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต (Widdows. 1983) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.1)

$$C = F + U + R + P \quad (2.1)$$

โดย C คือ พลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากอาหาร, F คือ พลังงานที่ร่างกายไม่สามารถดูดซึมได้ซึ่งสูญเสียไปในรูปของอุจจาระ, R คือ พลังงานที่ใช้ในการหายใจเพื่อการเผาผลาญพลังงาน (metabolism) ของร่างกายซึ่งจากกระบวนการนี้ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ, พลังงานความร้อน และของเสียในรูปไนโตรเจนซึ่งต้องมีการใช้พลังงานในการขับออกจากร่างกาย (U), P คือ พลังงานส่วนที่เหลือจากการใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาทั้งหมด ซึ่งเป็นส่วนของพลังงานที่ร่างกายได้เก็บสะสมไว้เพื่อการเจริญเติบโตของร่างกาย (P_g) และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (P_r) โดยปกติแล้วร่างกายจะมีการนำพลังงานเท่ากับความต้องการ แต่ถ้าปริมาณพลังงานที่นำเข้าร่างกายมีมากเกินไปความต้องการในการรักษาสภาพร่างกายให้เป็นปกติ และการใช้ในกิจกรรมต่างๆ จะทำให้มีการสะสมพลังงานเกิดขึ้น และเมื่อพลังงานที่นำเข้าร่างกายไม่เพียงพอต่อความต้องการจะทำให้มีการเผาผลาญพลังงานส่วนที่สะสมไว้มาใช้ส่งผลให้สัตว์นั้นมีน้ำหนักลดลง โดยการคำนวณปริมาณพลังงานที่เหลือสำหรับเก็บสะสม หรือพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตนั้นสามารถคำนวณได้จากการแปลงสมการชีวพลังงานพื้นฐานจากสมการ (2.1) ได้ดังสมการที่ (2.2) ดังนี้ (Widdows. 1983 ; Jobling. 1994)

$$P = C - (F + U + R)$$

หรือ $P = Ab - (R + U) \quad (2.2)$

โดย Ab คือปริมาณพลังงานที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ สมการชีวพลังงานสามารถอธิบายได้ถึงพลังงานที่ถูกใช้ในสิ่งมีชีวิต 1 ชนิด และการหมุนเวียนพลังงานตลอดประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ตลอดจนการถ่ายทอดพลังงานระหว่างระดับขั้นการกินอาหารในระบบนิเวศน์ ดังนั้นประโยชน์

ที่สำคัญของการศึกษาทางชีวพลังงานคือ การนำค่าความต้องการพลังงานไปประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดขีดจำกัดของการเจริญเติบโต (scope for growth) ของสิ่งมีชีวิต (Davies and Hatcher, 1998)

2.6 การศึกษาชีวพลังงานในหอยเป่าฮือ

งานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องของชีวพลังงานของหอยเป่าฮือยังมีการศึกษาค่อนข้างน้อย โดย López Acuña (1999) ทำการศึกษาชีวพลังงานของหอยเป่าฮือชนิด *H. tuberculata* L. ในระยะ juvenile ที่กินอาหารสำเร็จแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ อาหารที่มีการผสมสาหร่ายสีเขียวชนิด *Palmaria palmata* และสาหร่ายสีเขียวชนิด *Ulva lactuca* และอาหารที่ใช้ปลาป่น และ casein เป็นแหล่งโปรตีน โดยทดลองที่อุณหภูมิ 15, 18 และ 22 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า หอยเป่าฮือมีประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 89.04 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ดูดซึมได้ถูกใช้ในการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย 26.14 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ย 1.62 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการผลิตเมือกเฉลี่ย 4.22 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกายเฉลี่ย 23.74 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เฉลี่ย 3.94 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Farias *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงชีวพลังงานของหอยเป่าฮือชนิด *H. fulgens* ที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยให้กินอาหารสำเร็จที่ระดับโปรตีน 30.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ การสร้างสมการ allometric เพื่อใช้ในการประเมินปฏิกิริยาทางสรีรวิทยาของหอยเป่าฮือในระบบเลี้ยงที่มีขนาดแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าหอยเป่าฮือแสดงความสัมพันธ์ของการบริโภคอาหารกับขนาดของร่างกายในรูปแบบสมการ I (มิลลิกรัมต่อวัน) = $24.25W^{0.59}$ ซึ่งค่าพลังงานของอาหารมีค่าเท่ากับ 18.8 จูลต่อมิลลิกรัม อัตราการหายใจกับขนาดของร่างกายมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ R (มิลลิลิตรออกซิเจนต่อวัน) = $12.013W^{0.704}$ โดยมีการใช้พลังงาน 20.33 จูลต่อการบริโภค O_2 1 มิลลิลิตร อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียกับขนาดของร่างกายแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ U (ไมโครโมลไนโตรเจนแอมโมเนียมต่อวัน) = $43.57W^{0.85}$ ซึ่งมีการใช้พลังงาน 0.349 จูล ต่อการขับถ่ายแอมโมเนีย 1 ไมโครโมลไนโตรเจนแอมโมเนียม

สำหรับการศึกษาถึงค่าพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตของหอยเป่าฮือ ได้มีการศึกษาในหอยเป่าฮือชนิด *H. tuberculata* L. ที่กินสาหร่ายชนิด *Ulva lactuca* เป็นอาหาร พบว่าหอยที่มีขนาดความยาว 6 มิลลิเมตร (น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 0.01 กรัม) มีการใช้พลังงานในการเจริญเติบโต 0.71 แคลอรีต่อตัวต่อวัน ส่วนในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือก 95 มิลลิเมตร (น้ำหนักแห้ง 50 กรัม) จะมีการใช้พลังงานในการเจริญเติบโต 244.31 แคลอรีต่อตัวต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 36.8 เปอร์เซ็นต์ และ 24.5 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ขอย และดูดซึมได้ทั้งหมด (Peck *et al.* 1987) ส่วนการศึกษาทางด้านชีวพลังงานในแง่ของปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตในหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่กินอาหารสำเร็จนั้นยังไม่มีรายงานการศึกษา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเลี้ยงสัตว์ทดลอง

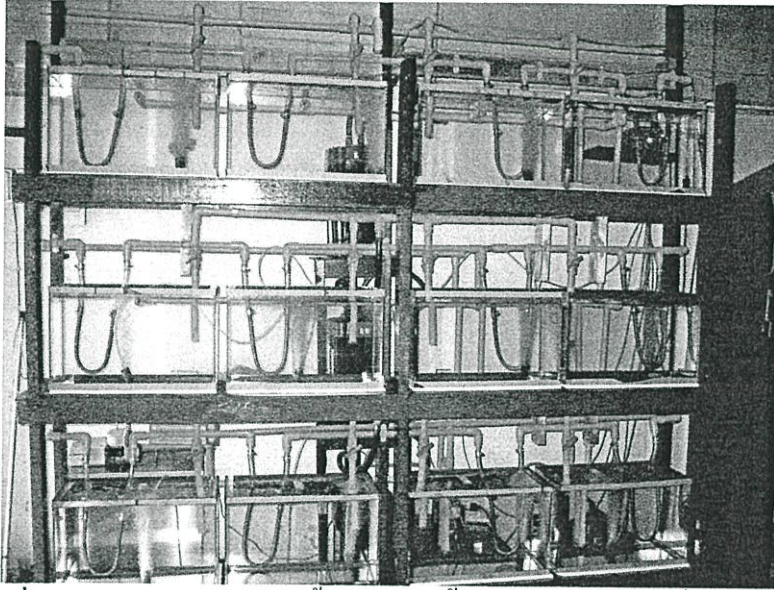
1. ตู้กระจกขนาด 26×50×30 เซนติเมตร ความจุ 32 ลิตร จำนวน 12 ตู้
2. วัสดุหลบซ่อนของหอยเป่าสี้อทำด้วยแผ่นพลาสติกพีวีซีหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 20.5 × 24.5 เซนติเมตร ตัดเป็นรูปหน้าจั่ว
3. ชุดกรองน้ำภายนอกตู้ (external filter) จำนวน 3 ตัว ยี่ห้อ RESUN รุ่น AE-808
4. เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Hanna รุ่น 9025
5. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น 550 DO
6. เครื่องวัดปริมาณไอออนที่ละลายในน้ำ (refractometer)

3.1.1.2 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

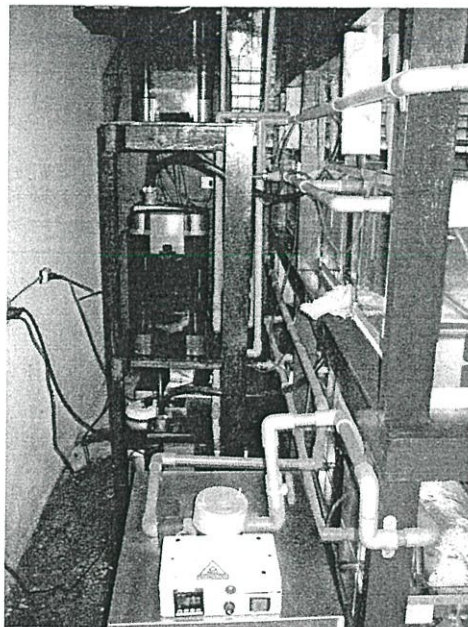
1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ PNP รุ่น YCO-NO1
2. ชุดกรองน้ำ (suction pump) ยี่ห้อ GAST รุ่น SO55 JX PPZ-7714/GS88EDX
3. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AG204
4. เครื่องชั่งแบบหยาบ (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ยี่ห้อ AND รุ่น HF-2000G
5. เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Lenton รุ่น EF 11/8
6. เครื่องวัดค่าความดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Milton Roy รุ่น Spectronic 401
7. โถดูดความชื้น (desiccator)
8. ชุดวัดอัตราการหายใจ (respirometric chamber) ซึ่งทำด้วยอะคริลิกใสทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร ความจุ 1.6 ลิตร
9. อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
10. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
11. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์สารที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA)

3.1.2 ระบบเลี้ยงหอยเป่าอ้อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

ทำโดยเชื่อมต่อตู้ทดลองจำนวน 4 ตู้กับชุดกรองน้ำภายนอกจำนวน 1 ตัว ด้วยท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ซึ่งจะจัดเรียงตู้ทดลองทั้ง 4 ตู้อยู่ในชั้นเดียวกัน ดังนั้นระบบเลี้ยงจะมีตู้ทดลองทั้งหมด 3 ชั้น ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



ภาพที่ 3.1 ด้านหน้าของระบบเลี้ยงหอยเป่าอ้อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด



ภาพที่ 3.2 ด้านหลังของระบบเลี้ยงหอยเป่าอ้อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

ภายในตู้ทดลองมีการควบคุมการไหลเวียนของน้ำให้อยู่ในระดับ 450-500 มิลลิลิตรต่ออนาที น้ำที่ใช้ในระบบเลี้ยงเตรียมได้จากการเจือจางน้ำทะเลนาเกลือที่มีระดับความเค็ม 150-200 ส่วนใน

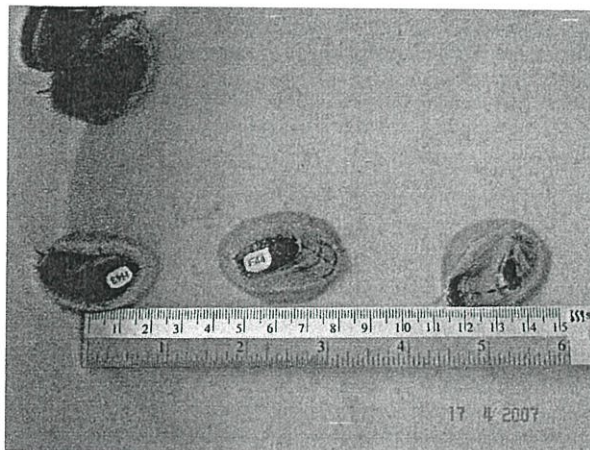
พันธุ์ ส่วน ซึ่งระดับความเค็มของน้ำที่เตรียมจะเท่ากับระดับความเค็มของน้ำในแหล่งที่นำหอยเป่าฮื้อมาใช้ในการทดลอง ภายในระบบเลี้ยงจะมีการกระตุ้นให้เกิด nitrifying bacteria โดยการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ในปริมาณที่ทำให้น้ำมีปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปล่อยให้ระบบเกิดการบำบัดแอมโมเนีย และก่อนทำการปล่อยหอยเป่าฮื้อลงในระบบเลี้ยงต้องควบคุมคุณภาพน้ำให้มีปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทน้อยกว่า 0.05, 0.2 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่าง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมากกว่า 100 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.1.3 สัตว์ทดลอง

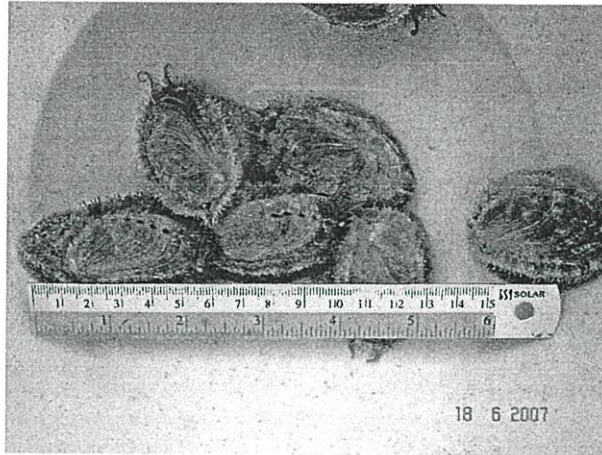
หอยเป่าฮื้อที่ใช้ในการทดลอง (ภาพที่ 3.3, 3.4 และ 3.5) นำมาจากหน่วยปฏิบัติการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะและเลี้ยงหอยเป่าฮื้อไทย สถาบันวิจัยทรัพยากรสัตว์น้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อ. เกาะสีชัง จ. ชลบุรี โดยหอยที่นำมาแต่ละขนาดเป็นกลุ่มหอยที่มีขนาดเฉลี่ยตามอายุที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3.3 หอยเป่าฮื้อชนิดไทย *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.4 หอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.5 หอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร

3.1.4 การปรับสภาพสัตว์ทดลอง

เมื่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงเหมาะสมจะเริ่มนำหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มาเลี้ยงโดยนำมาทดลองที่ละขนาด อัตราการปล่อยคือ 20, 10 และ 6 ตัวต่อตู้ตามลำดับ อัตราการปล่อยดังกล่าวเป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำไม่มากเกินไปจนเกิดอันตรายต่อหอยเป่าฮื้อ ซึ่งได้ทำการทดลองในขั้นต้น (preliminary) ในแต่ละชั้นตู้ทดลองจะใส่หอยเป่าฮื้อ 3 ตู้ทดลอง ส่วนอีก 1 ตู้ทดลองจะใช้เป็นชุดควบคุม ทำการควบคุมความเค็มของน้ำให้อยู่ที่ระดับ 31 ± 1 ส่วนในพันส่วน และอุณหภูมิที่ 28 ± 1 องศาเซลเซียส โดยทำการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิและความเค็ม 1 องศาเซลเซียส และ 1 ส่วนในพันส่วนต่อวัน หอยจะถูกเลี้ยงในสภาวะดังกล่าวเป็นระยะเวลา 5 วันเพื่อเป็นการปรับสภาพก่อนเริ่มทำการทดลอง ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และการทดลองจะให้อาหารวันละ 1 ครั้งในเวลา 17.30 ถึง 18.00 นาฬิกา ปริมาณ 2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว และดูดตะกอน 2 ครั้งต่อวันในเวลาเช้า (08.00 ถึง 09.00 นาฬิกา) และเย็น (16.30 ถึง 17.30 นาฬิกา) เพื่อกำจัดเศษอาหารเหลือ และอุจจาระ ส่วนน้ำที่ดูดออกจะนำมาผ่านการบำบัดก่อนนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การวัดปริมาณการกิน, ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร (feeding intake, digestibility and assimilation efficiency)

หลังจากที่หอยได้ปรับสภาพในระบบทดลองเป็นระยะเวลา 5 วัน ในวันถัดไปจะเริ่มวัดปริมาณการกินอาหาร ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้อาหารสำเร็จที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนกับหอยเป่าฮื้อในตู้ทดลองแต่ละตู้รวมถึงตู้ทดลองที่ไม่มีหอยซึ่งเป็นชุดควบคุมในปริมาณที่ให้กินอิ่มพอดี และปริมาณเท่าเดิมตลอดการทดลอง ซึ่งใน

ระหว่างที่ทำการปรับสภาพหอยนั้นต้องมีการปรับปริมาณอาหารให้เหมาะสม

2. ในวันถัดไปทำการเก็บอาหารเหลือในคอนเข้า และอุจจาระในคอนเย็น แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (ashless filter paper) โดยใช้ชุดกรองน้ำหลังจากนั้นนำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้ง

การทดลองดังกล่าวทำพร้อมกันสามชั้นผู้ทดลอง และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 4 วัน ตามวิธีการทดลองของ *Fariás et al.* (2003) ในหอยแต่ละขนาด เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะวัดขนาดความยาวเปลือก และชั่งน้ำหนักหอยทดลองในแต่ละคู่ พร้อมทั้งนำอาหารที่ใช้เลี้ยง และอุจจาระที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์สารที่ไม่ละลายในกรดตามวิธีของ *Vargas et al.* (2002) (ภาคผนวก ค.) และนำตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์ค่าความชื้น และคุณค่าทางอาหาร (proximate analysis) เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน, เปอร์เซ็นต์ไขมัน, เปอร์เซ็นต์เถ้า และพลังงานที่มีอยู่ในอาหารตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก AOAC (1990)

3.2.2 การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption)

การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนจะทำหลังจากให้อาหารเป็นเวลา 14 ถึง 15 ชั่วโมง โดยระบบวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนประกอบด้วยชุดวัดอัตราการหายใจ 2 ชุด ซึ่งประกอบด้วยชุดควบคุม และหน่วยวัดอัตราการหายใจ วิธีการทำการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมน้ำเค็มที่มีระดับความเค็มเท่ากับน้ำในระบบเลี้ยงใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดพร้อมทำการอัดอากาศเพื่อให้น้ำอึดตัวด้วยออกซิเจน (ในสภาวะอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และความเค็ม 31 ส่วนในพันส่วน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอึดตัวมากที่สุดที่ระดับประมาณ 6 มิลลิกรัม ออกซิเจนต่อลิตร)

2. ป้อนน้ำจากกระเบพลาสติกเข้าสู่ชุดวัดอัตราการหายใจชุดควบคุม จากนั้นต่อสายยางทางน้ำออก ทำการไล่ฟองอากาศ และปิดระบบหมุนเวียนน้ำ ส่วนในชุดทดลองทำเช่นเดียวกัน โดยป้อนน้ำเข้าสู่ชุดวัดอัตราการหายใจในบางส่วน จากนั้นทำการสูบลมเป่าอ้อมมาใส่ในชุดทดลอง โดยหอยเป่าอ้อมที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 และ 3 เซนติเมตรจะสูบลมมาจำนวน 5 ตัว ส่วนหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตรนั้นจะสูบลมมาจำนวน 3 ตัว หลังจากนั้นปิดฝาชุดวัดอัตราการหายใจ ต่อสายยางทางน้ำออก และป้อนน้ำเข้าสู่ชุดวัดอีกครั้งเพื่อทำการหมุนเวียนน้ำ

3. หมุนเวียนน้ำในชุดวัดอัตราการหายใจเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นปิดระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อทำการวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนเป็นเวลา 30 นาที (ระดับความอึดตัวของออกซิเจนไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าเริ่มต้น) แล้วจึงเก็บน้ำตัวอย่างจากชุดวัดอัตราการหายใจทั้งสองไปวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำตามวิธีการของ *Strickland and Parsons* (1972) (ภาคผนวก ค.)

4. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 3 อีกจำนวน 2 ครั้ง โดยใช้หอยชุกเดิม
5. ในหอยแต่ละขนาดจะทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้ง จะทำการวัดขนาดความยาวเปลือก และชั่งน้ำหนักหอยที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 การวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (ammonia excretion)

การวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจะทำหลังจากให้อาหารเป็นเวลา 14 ถึง 15 ชั่วโมง ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเค็มที่มีระดับความเค็มเท่ากับน้ำในระบบเลี้ยงใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด และทำการอัดอากาศเพื่อให้น้ำอึดตัวด้วยออกซิเจน

2. นำน้ำที่เตรียมไว้ใส่ในบีกเกอร์สะอาดจำนวน 11 ใบ โดยมี 1 ใบ เป็นชุดควบคุม (ไม่มีหอย) และ 10 ใบเป็นชุดทดลอง โดยบีกเกอร์ที่ใช้สำหรับการวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร คือ บีกเกอร์ที่มีขนาด 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร ตามลำดับ ก่อนนำบีกเกอร์มาใช้ในการทดลองจะนำบีกเกอร์ไปแช่ในสารละลายเจือจาง 5 เปอร์เซ็นต์คาร์บอเนตฟิวริก เป็นระยะเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น และผึ่งให้แห้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนไนโตรเจนจากภายนอก

3. ปิดด้านบนของบีกเกอร์ด้วยวัสดุที่สามารถปิดได้สนิท แล้วนำไปใส่ในภาชนะพลาสติกซึ่งภายในบรรจุน้ำจากระบบเลี้ยง เพื่อเป็นการปรับอุณหภูมิของน้ำภายในบีกเกอร์ให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำในระบบเลี้ยง

4. สุ่มหอยเป่าอ้อมาจำนวน 10 ตัว ใส่ในบีกเกอร์แต่ละใบ ปิดด้านบนของบีกเกอร์ และวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเก็บน้ำตัวอย่างในบีกเกอร์แต่ละใบรวมถึงชุดควบคุมไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียที่ละลายน้ำตามวิธีการของ Strickland and Parsons (1972) (ภาคผนวก ค.)

5. ในหอยแต่ละขนาดทำการทดลองดังกล่าว 3 ครั้ง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทุกครั้งจะทำการวัดขนาดความยาวเปลือก และชั่งน้ำหนักหอยในแต่ละบีกเกอร์

เมื่อวัดอัตราการกินอาหาร อัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเสร็จสิ้น หอยแต่ละขนาดจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักสด และวัดขนาดความยาวเปลือก จากนั้นนำไปแช่แข็ง และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถสุญญากาศ และชั่งน้ำหนักแห้งของเนื้อ

3.3 การรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ปริมาณการกินอาหาร และพลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน

3.3.1.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารคำนวณ ได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \left(\frac{a - b}{w} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ a คือ น้ำหนักรวมของภาชนะและตัวอย่างก่อนการอบ, b คือ น้ำหนักรวมของภาชนะและตัวอย่างหลังการอบ และ w คือ น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารจะนำมาคำนวณน้ำหนักแห้งของอาหารที่ให้ (W_0) ดังสมการที่ (3.2)

$$W_0 = \text{น้ำหนักสดของอาหารที่ให้} - \left(\frac{\text{น้ำหนักสดของอาหารที่ให้} \times \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}}{100} \right) \quad (3.2)$$

3.3.1.2 ข้อมูลปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวันของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้ คำนวณได้จากสมการที่ (3.3) ตามวิธีการของ *Farias et al.* (2003)

$$I = \frac{W_0 - W_F}{N} \quad (3.3)$$

เมื่อ I คือ ปริมาณของอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวันของผู้ทดลองแต่ละตู้ (กรัม), W_0 คือ น้ำหนักแห้งของอาหารที่ให้ (กรัม), W_F คือ ผลรวมของน้ำหนักแห้งของอาหารที่เหลือกับน้ำหนักแห้งของอาหารที่หายไปในช่วงควบคุม (กรัม) และ N คือ จำนวนหอยในตู้ทดลอง ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวันของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้จะนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณการกินอาหารของหอยแต่ละขนาด (feeding intake)

3.3.1.3 ปริมาณพลังงานที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้

ในการคำนวณปริมาณพลังงานที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ต้องรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลปริมาณอนินทรีย์สารที่มีอยู่ในอาหาร และอุจจาระของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้ คำนวณได้ดังสมการที่ (3.4) ตามวิธีการของ *Vargas et al.* (2002)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณอนินทรีย์สาร} = 100 \times \left(\frac{(\text{weight} + \text{ash, g}) - (\text{crucible weight, g})}{\text{Sample (g dry weight)}} \right) \quad (3.4)$$

เปอร์เซ็นต์ AIA คือ ปริมาณของอนินทรีย์สารที่ไม่ละลายในกรด, weight คือ น้ำหนักของเถ้าหลังจากต้มในกรดรวมกับน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง, ash คือ น้ำหนักเถ้าก่อนทำการต้มในกรด, crucible weight คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2

ชั่วโมง, sample คือน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จะนำมาคำนวณอัตราการย่อยอาหารของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้

2. อัตราการย่อยอาหารของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้ คำนวณจากสมการที่ (3.5)

$$\text{apparent digestibility} = 100 - \left\{ 100 \times \left(\frac{\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณอินทรีย์สารในอาหาร}}{\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณอินทรีย์สารในอุจจาระ}} \right) \right\} \quad (3.5)$$

apparent digestibility คือ อัตราการย่อยอาหาร (เปอร์เซ็นต์) (Vargas *et al.* 2002) ค่าอัตราการย่อยอาหารของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้จะถูกนำมาเฉลี่ยเป็นอัตราการย่อยอาหารของหอยแต่ละขนาด

3. ประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารของหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้ คำนวณจากสมการที่ (3.6)

$$\text{assimilation efficiency} = 100 \times \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1 \times (1 - R_2)} \right) \quad (3.6)$$

assimilation efficiency คือ ประสิทธิภาพการดูดซึมอาหาร (เปอร์เซ็นต์), R_1 คือสัดส่วนของน้ำหนักแห้งของอาหารหลังจากคัมในกรดกับน้ำหนักแห้งของอาหารที่วิเคราะห์ และ R_2 คือ สัดส่วนของน้ำหนักแห้งของอุจจาระหลังจากคัมในกรดกับน้ำหนักแห้งของอุจจาระที่วิเคราะห์ ตามวิธีการของ Conover (1966) ค่าที่คำนวณได้จากหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้จะนำมาเฉลี่ยเป็นประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารของหอยแต่ละขนาด

4. ปริมาณอาหารที่ร่างกายสามารถย่อยได้ในหอยแต่ละขนาด คำนวณจากสมการที่ (3.7)

$$\text{ปริมาณอาหารที่ร่างกายสามารถย่อยได้} = \frac{\text{feeding intake} \times \text{apparent digestibility}}{100} \quad (3.7)$$

5. ปริมาณอาหารที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ (feed absorption) ในหอยแต่ละขนาด คำนวณจากสมการที่ (3.8)

$$\text{feed absorption} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ร่างกายสามารถย่อยได้} \times \text{assimilation efficiency}}{100} \quad (3.8)$$

6. ปริมาณพลังงานที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ (A_b) หรือปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับคำนวณจากสมการที่ (3.9)

$$A_b = \text{feed absorption} \times \text{ค่าพลังงานที่วิเคราะห์ได้จากอาหาร (จุดต่อกรัม)} \quad (3.9)$$

3.3.2 อัตราการบริโภคออกซิเจน และพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจน

อัตราการบริโภคออกซิเจนในระยะเวลาการทดลอง 30 นาที ของแต่ละครั้งในการเก็บน้ำตัวอย่างคำนวณจากสมการที่ (3.10)

$$\text{อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย} = DO_{\text{จุดควบคุม}} - DO_{\text{จุดทดลอง}} \quad (3.10)$$

DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อได้ค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนในระยะเวลา 30 นาที ครบ 3 ครั้งต่อ 1 การทดลอง จึงนำมาเฉลี่ย และคำนวณเป็นอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อตัว โดยการหารด้วยจำนวนหอยในชุดวัดอัตราการหายใจ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน โดยการคูณด้วย 48 และสุดท้ายนำมาเฉลี่ยเป็นค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อตัวต่อวันของหอยแต่ละขนาด และนำค่าที่ได้มาคำนวณกลับเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจนของหอยแต่ละขนาด โดยใช้ conversion factor 20.33 จุดต่อมิลลิลิตรออกซิเจน (Farías *et al.* 2003)

3.3.4 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย และพลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนีย

อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียต่อตัวในระยะเวลาการทดลอง 30 นาที คำนวณได้จากสมการที่ (3.11)

$$\text{อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย} = N-NH_4^+_{\text{จุดทดลอง}} - N-NH_4^+_{\text{จุดควบคุม}} \quad (3.11)$$

$N-NH_4^+$ คือ ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อได้ค่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียต่อตัวในระยะเวลา 30 นาที จึงนำมาคำนวณกลับเป็นอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียต่อตัวต่อวัน โดยการคูณด้วย 48 จากนั้นนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียต่อตัวต่อวันของหอยแต่ละขนาด และคำนวณกลับเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียโดยใช้ conversion factor 0.349 จุดต่อไมโครโมลไนโตรเจนแอมโมเนียม (Farías *et al.* 2003)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องในสมการชีวพลังงาน และขนาดของหอยเป่าอื้อ

จากสมมุติฐานที่ว่าค่าของปัจจัยทางสรีรวิทยาใดๆ กับน้ำหนักตัวจะมีความสัมพันธ์แบบสมการ allometric ดังสมการที่ (3.12)

$$Y_x = aW^b \quad (3.12)$$

ดังนั้นปัจจัยต่างๆ ทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมการชีวพลังงาน ได้แก่ ปริมาณการกินอาหาร, อัตราการหายใจ และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจะแสดงความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งในรูปแบบของสมการ allometric ซึ่ง Y_x คือค่าของปัจจัยทางสรีรวิทยาใดๆ, W คือ น้ำหนักแห้งของหอยเป่าอื้อ มีหน่วยเป็นกรัม, a และ b คือ ค่าคงที่

3.4.2 ค่าพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตของหอยเป่าอื้อแต่ละขนาด (scope for growth)

ค่าพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต คำนวณได้จากสมการที่ (2.2) ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2

$$P = Ab - (R+U)$$

3.4.3 การจัดสรรพลังงานของร่างกายจากพลังงานที่ได้รับจากอาหารในหอยเป่าอื้อแต่ละขนาด (energy budget) แสดงได้ดังสมการที่ (2.1) ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2

$$C = F + U + R + P$$

3.4.4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (growth efficiency or conversion efficiency)

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตหรืออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของร่างกายคำนวณจากสมการที่ (3.13) และ (3.14)

$$K_1 = P / I \quad (3.13)$$

$$K_2 = P / Ab \quad (3.14)$$

โดย K_1 คือ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทั้งหมด, K_2 คือ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสุทธิ I คือ ปริมาณพลังงานที่ร่างกายกินเข้าไปทั้งหมด, Ab คือ ปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับ และ P คือ

ปริมาณพลังงานที่ร่างกายใช้ในการเจริญเติบโต

3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (Tukey 's multiple range test ; $P < 0.01$) พร้อมทั้งวิเคราะห์ความถดถอยแบบสหสัมพันธ์ (multiple regression analysis)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

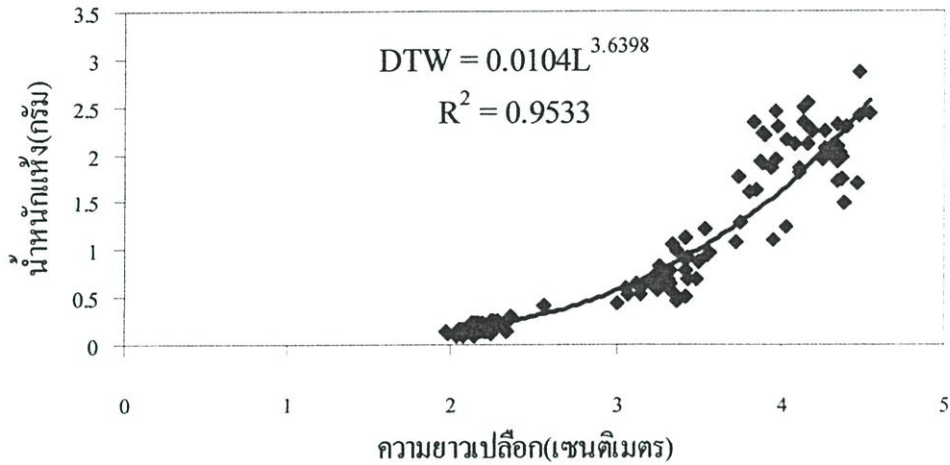
อาหารสำเร็จที่ใช้ในการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อครั้งนี้ไม่ได้เป็นอาหารที่ใช้ในทางการค้า ซึ่งผลิตขึ้นจากการใช้วัตถุดิบต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพบว่าปริมาณของโปรตีน ไขมัน และเถ้าในสัดส่วน 27.96, 3.23 และ 10.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแหล่งโปรตีนในอาหารมาจากปลาป่น และกากถั่วเหลืองปริมาณอาหาร 1 กิโลกรัมให้พลังงานเท่ากับ 4062.7 กิโลแคลอรี

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของอาหารสำเร็จที่ใช้ในการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อ

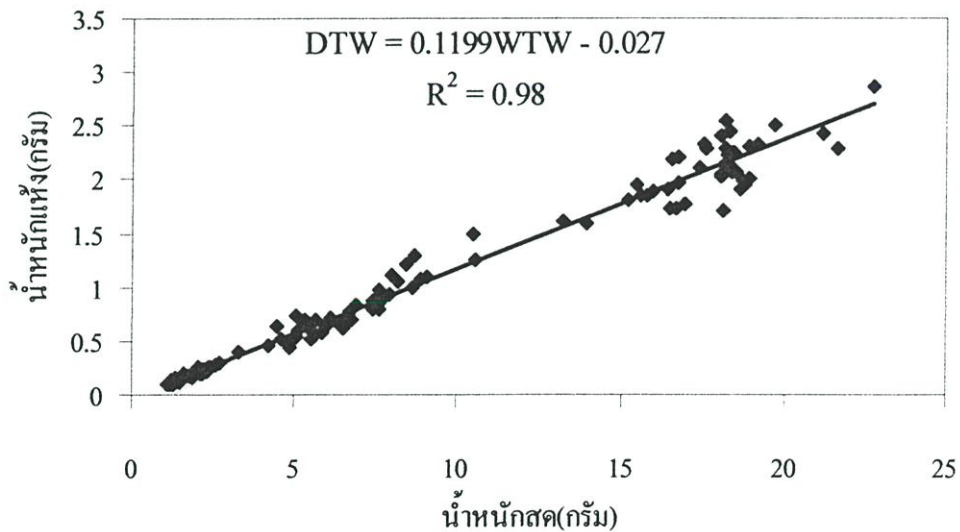
วัตถุดิบ	สัดส่วน (กรัมต่อกิโลกรัม)
ปลาป่น	183.3
กากถั่วเหลือง	416.7
ข้าวโพด	212.5
แป้งมัน	110
สาหร่ายผง (<i>Gracilaria sp.</i>)	50
วิตามินรวม	5
เกลือแร่	5
วิตามินซี	5
วุ้น	2.5
น้ำมันตับปลา	10
คุณค่าทางอาหาร(เปอร์เซ็นต์)	
เถ้า	10.03 ± 1.09
โปรตีน	27.96 ± 0.63
ไขมัน	3.23 ± 1.12
พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	4062.7

หอยเป่าฮื้อที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.22 ± 0.13 (n = 112), 3.27 ± 0.027 (n = 86) และ 4.16 ± 0.056 (n = 46) เซนติเมตร ในกลุ่มหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีน้ำหนักเฉลี่ย 2.14 ± 0.47 , 7.51 ± 0.21 และ 19.29 ± 0.95 กรัม

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลือกกับน้ำหนักแห้งแสดงดังภาพที่ 4.1 โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลือกกับน้ำหนักแห้งคือ $DTW = 0.0104L^{3.6398}$ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น (ภาพที่ 4.2) โดยสมการแสดงความสัมพันธ์คือ $DTW = 0.1199WTW - 0.027$



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลือก (เซนติเมตร) กับน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร

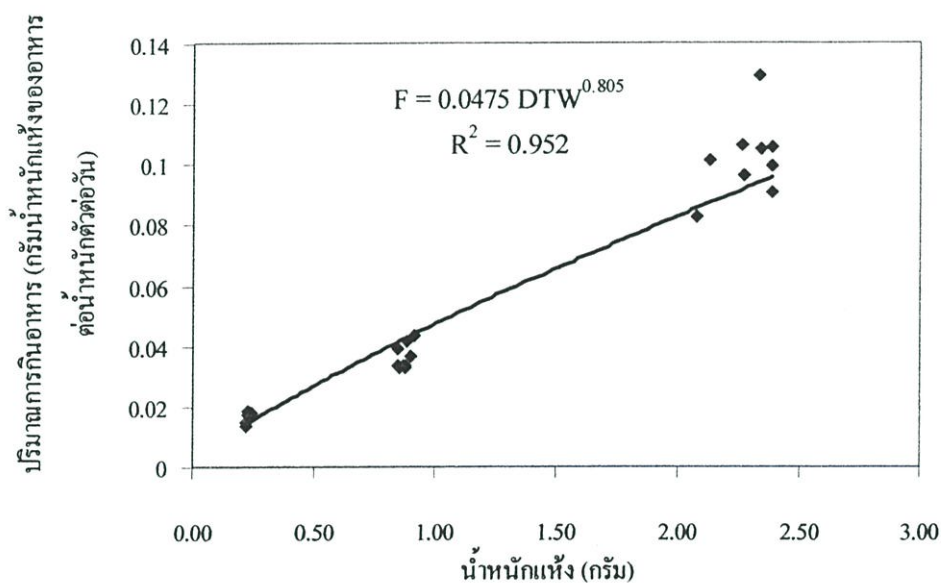


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด (กรัม) กับน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร

4.1 ปริมาณการกินอาหาร ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร

4.1.1 ปริมาณการกินอาหาร (feeding intake)

จากการศึกษาปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.016 ± 0.002 , 0.036 ± 0.004 และ 0.102 ± 0.013 กรัมน้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 0.75, 0.48 และ 0.53 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวตามลำดับ ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อทั้ง 3 ขนาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณการกินอาหารของหอยเป่าฮื้อ (ภาพที่ 4.3) อยู่ในรูปของสมการ allometric คือ $F = 0.0475 DTW^{0.805}$



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณการกินอาหาร (กรัมน้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน) ของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร

4.1.2 ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร (assimilation efficiency)

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของหอยเป่าฮื้อมีความแตกต่างกันในหอยแต่ละขนาด โดยหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการย่อยอาหารมากที่สุดเท่ากับ 73.5 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ หอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยอาหารเท่ากับ 69.95 ± 1.82 และ 65.87 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารในหอยแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ 80.9 ± 0.04 , 81.34 ± 1.81 และ 80.89 ± 0.36 เปอร์เซ็นต์ ในหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ปริมาณอาหารที่กินจะผ่านกระบวนการย่อย และดูดซึมที่แตกต่างกันในหอยแต่ละ

ขนาด ซึ่งทำให้ได้รับพลังงานในแต่ละวันเท่ากับ 162.21, 358.03 และ 939.52 จูลต่อวัน และคิดเป็น 59.46, 56.9 และ 53.28 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่กินทั้งหมด

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการย่อย การดูดซึมอาหาร และพลังงานที่ได้รับในแต่ละวันของหอยเป่าฮื้อแต่ละขนาด

ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ประสิทธิภาพการย่อย (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิภาพการดูดซึม (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานที่ได้รับ ในแต่ละวัน(จูล)
2	73.5 ± 0.03	80.9 ± 0.04	162.21
3	69.95 ± 1.82	81.34 ± 1.81	358.03
4	65.87 ± 0.64	80.89 ± 0.36	939.52

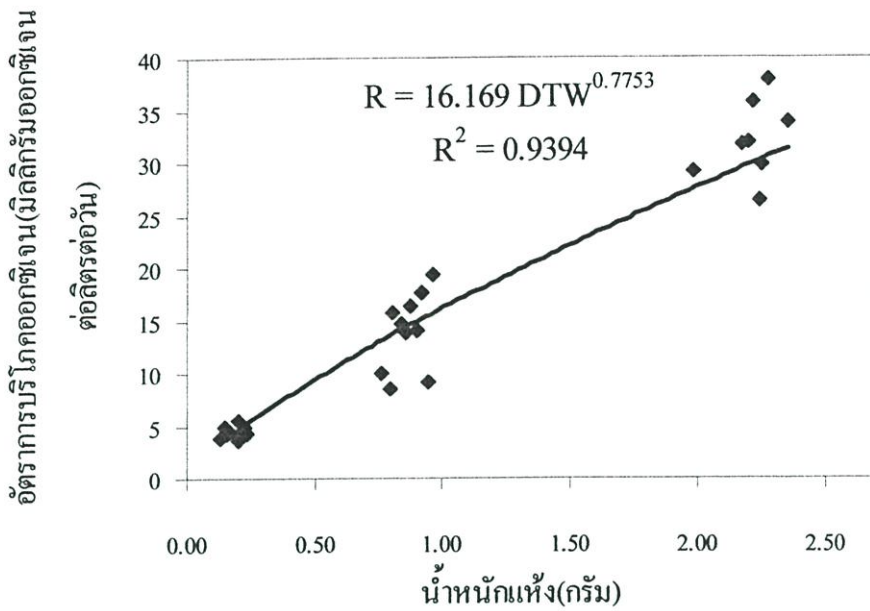
4.2 อัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption)

อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 4.469 ± 0.576 , 13.935 ± 3.674 และ 32.067 ± 3.727 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรต่อวัน และต้องมีการใช้พลังงานในการบริโภคออกซิเจนเท่ากับ 90.86, 283.3 และ 651.93 จูลต่อวัน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจนดังกล่าวคิดเป็น 56.01, 79.13 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด

ตารางที่ 4.3 อัตราการบริโภคออกซิเจน และพลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจนในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด

ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	พลังงานที่ใช้ในการบริโภค ออกซิเจน (จูลต่อวัน)
2	4.469 ± 0.576	90.86
3	13.935 ± 3.674	283.3
4	32.067 ± 3.727	651.93

อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อทั้ง 3 ขนาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และแสดงความสัมพันธ์กับขนาดของหอยเป่าฮื้อที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.4) โดยแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการบริโภคออกซิเจนของหอยเป่าฮื้ออยู่ในรูปของสมการ allometric คือ $R = 16.169 \text{ DTW}^{0.7753}$



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการบริโภคน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร

4.3 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (ammonia excretion)

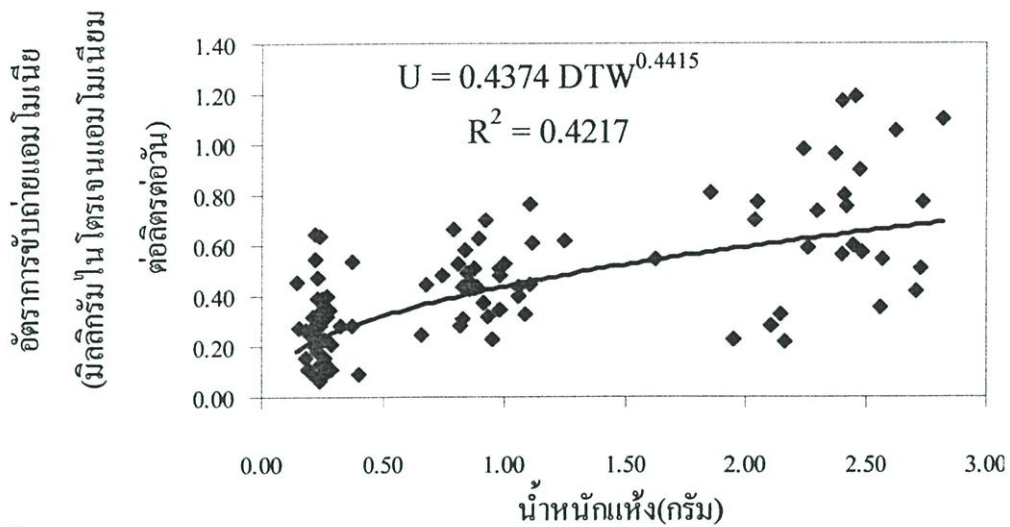
อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ยของหอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.267 ± 0.148 , 0.466 ± 0.132 และ 0.684 ± 0.282 มิลลิกรัมไนโตรเจนแอมโมเนียมต่อลิตรต่อวัน และมีการใช้พลังงานในการขับถ่ายแอมโมเนียเท่ากับ 5.18, 9.04 และ 13.27 จูลต่อวัน (ตารางที่ 4.4) ซึ่งคิดเป็น 3.19, 2.52 และ 1.41 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย และพลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียในแต่ละวันของหอยแต่ละขนาด

ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ย (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรต่อวัน)	พลังงานที่ใช้ในการขับถ่าย แอมโมเนีย (จูลต่อวัน)
2	0.267 ± 0.148	5.18
3	0.466 ± 0.132	9.04
4	0.684 ± 0.282	13.27

อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ยของหอยเป่าชื่อทั้ง 3 ขนาดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าชื่อ

(ภาพที่ 4.5) อยู่ในรูปของสมการ allometric คือ $U = 0.4374 DTW^{0.4415}$



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกบอัตรการขับถ่ายแอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจนแอมโมเนียต่อลิตรต่อวัน) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร

4.4 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย (energy budget)

การจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยเป่าชื่อมีความแตกต่างกันในหอยแต่ละขนาด ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 โดยหอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีการได้รับพลังงานในแต่ละวันเท่ากับ 162.21 จูล ปริมาณพลังงานดังกล่าวจะถูกใช้ในการบริโภคออกซิเจนในสัดส่วน 56.01 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียในสัดส่วน 3.19 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในการเจริญเติบโตในสัดส่วน 40.79 เปอร์เซ็นต์ (คำนวณจากสมการที่ 2.2)

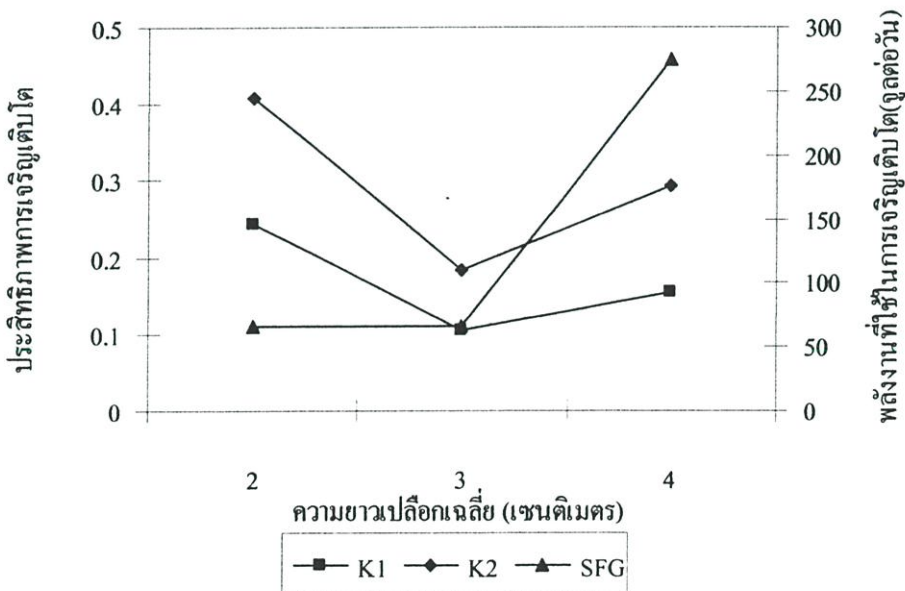
หอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร มีการได้รับปริมาณพลังงานในแต่ละวันเท่ากับ 358.03 จูล โดยถูกใช้ในการบริโภคออกซิเจนในสัดส่วน 79.13 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนีย 2.52 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในการเจริญเติบโตในสัดส่วน 17.79 เปอร์เซ็นต์ สำหรับหอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร มีการได้รับปริมาณพลังงานในแต่ละวันเท่ากับ 939.52 จูล และถูกใช้ในการบริโภคออกซิเจนในสัดส่วน 69.39 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนีย 1.41 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในการเจริญเติบโตในสัดส่วน 29.19 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย

ความยาวเปลือก เกล็ด (เซนติเมตร)	พลังงานที่ได้รับ จากอาหาร (จุดต่อวัน)	พลังงานที่ใช้ใน การบริโภคออกซิเจน (จุดต่อวัน) (%)	พลังงานที่ใช้ใน การขับถ่ายแอมโมเนีย (จุดต่อวัน) (%)	พลังงานที่ใช้ใน การเจริญเติบโต (จุดต่อวัน) (%)
2	162.21	90.86 (56.01)	5.18 (3.19)	66.17 (40.79)
3	358.03	283.3(79.13)	9.04 (2.52)	65.69 (18.35)
4	939.52	651.93(69.39)	13.27 (1.41)	274.32 (29.19)

4.5 พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (growth efficiency)

จากการศึกษาหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเกล็ด 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มีพลังงานที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตเท่ากับ 66.17, 65.69 และ 274.32 จุดต่อวัน และมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทั้งหมด (K_1) เท่ากับ 0.24, 0.10 และ 0.16 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสุทธิ (K_2) เท่ากับ 0.41, 0.18 และ 0.29 ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) และ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (growth efficiency) ของหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเกล็ด 2, 3 และ 4 เซนติเมตร

บทที่ 5

การวิจารณ์ผล

5.1 ปริมาณการกินอาหาร

ในศึกษาถึงปริมาณการกินอาหารของหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. asinina* ที่กินอาหารสำเร็จในระดับโปรตีน 27.9 เปอร์เซ็นต์ ครั้งนี้ได้มีการประเมินถึงปริมาณอาหารที่ต้องสูญเสียไปกับน้ำในระหว่างการทดลอง เพื่อลดความผิดพลาดต่อการประเมินค่าของข้อมูลที่สูงเกินความจริง (overestimates) และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับปริมาณการกินอาหารพบว่า หอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบในน้ำหนักที่เท่ากันพบว่า หอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีอัตราการกินอาหารมากกว่าหอยเป่าชื่อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากหอยเป่าชื่อที่มีขนาดเล็กมีความต้องการพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตมากกว่าหอยเป่าชื่อที่มีขนาดใหญ่เพื่อการพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยต่อไป อัตราการกินอาหารของ *H. asinina* 3 ขนาด มีค่าอยู่ในช่วง 0.75 ถึง 0.51 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการกินอาหารของหอยเป่าชื่อชนิดเดียวกันแต่ขนาดต่างกัน พบว่าหอยเป่าชื่อที่มีขนาดเล็กมีอัตราการกินอาหารมากกว่า โดยจากการศึกษาของ สกนธ์ แสงประดับ และคณะ (2546) พบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 1.14 เซนติเมตร และกินอาหารสำเร็จในระดับโปรตีนสูง 38.8 เปอร์เซ็นต์ มีการอัตราการกินอาหารเท่ากับ 0.99 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหารต่อตัวต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการกินอาหารจากการได้รับอาหารต่างชนิดกันพบว่า หอยเป่าชื่อที่ได้รับอาหารธรรมชาติมีอัตราการกินอาหารสูงกว่า เนื่องจากอาหารธรรมชาติมีค่าพลังงานต่ำกว่าอาหารสำเร็จจึงทำให้ต้องกินในปริมาณมากเพื่อให้ร่างกายได้รับปริมาณพลังงานอย่างเพียงพอ โดยจากการศึกษาของศิลา แทนสา (2549) พบว่า *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.7 เซนติเมตร และกินสาหร่ายหนาม (*Acanthophora specifera*) เป็นอาหารจะมีปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยในแต่ละวันเท่ากับ 5.67 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกของอาหารต่อตัวต่อวัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าเลขยกกำลังที่ได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการกินอาหาร (ภาพที่ 4.3) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.805 และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการกินอาหารในเป่าชื่อชนิดอื่นๆ ได้แก่ *H. fulgens*, *H. kamtschatkana* และ *H. tuberculata* พบว่ามีค่าเลขยกกำลังเท่ากับ 0.59 (Farias et al. 2003), 0.64 (Donovan. 1998) และ 0.73 (Peck et al. 1987) ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่านั้นแสดงถึงอัตราการกินอาหารของ *H. asinina* ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าหอยเป่าชื่อชนิดอื่นๆ เมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้น

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปริมาณอาหารที่ให้หอยเป่าฮือในระบบเลี้ยงที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด โดยควรให้อาหารในปริมาณ 0.51 ถึง 0.75 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว เพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองของอาหาร (ลดต้นทุนการผลิต) และมีปริมาณอาหารเหลือในระบบเลี้ยงมากเกินไป ซึ่งง่ายต่อการจัดการ และช่วยให้คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำ

5.2 ประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหาร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของหอยเป่าฮือไทยชนิด *H. asinina* พบว่ามีค่าเท่ากับ 73.5, 69.95 และ 65.87 เปอร์เซ็นต์ ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีการลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ข้อมูลดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Uki and Watanabe (1992) ในหอยเป่าฮือชนิด *H. discus hannai* ที่พบว่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีการลดลงในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือก 1.3 ถึง 5.2 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีการลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ในร่างกายลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าฮือที่กินอาหารธรรมชาติจะพบว่าหอยเป่าฮือที่กินอาหารสำเร็จมีประสิทธิภาพการย่อยอาหารมากกว่า เนื่องจากอาหารสำเร็จสามารถย่อยได้ง่าย โดยจากการศึกษาของศिला แทนสา (2549) พบว่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.7 เซนติเมตร และกินสาหร่ายหนาม (*Acanthophora specifera*) เป็นอาหาร มีค่าเท่ากับ 13.76 เปอร์เซ็นต์

ในการศึกษานี้ได้มีการวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์สารที่ไม่ละลายในกรด (acid insoluble ash, AIA) ทั้งในอาหาร และอุจจาระ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของหอยเป่าฮือแต่ละขนาด ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นที่ยอมรับสำหรับการศึกษาค่าประสิทธิภาพการย่อยอาหารของหอยเป่าฮือ เนื่องจากให้ข้อมูลที่แม่นยำใกล้เคียงกับการศึกษาโดยวิธีทางตรง (direct method) และเป็นตัวชี้วัดที่มีอยู่ในอาหาร (internal marker) ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อกรกินอาหาร ความอยากอาหาร ตลอดจนประสิทธิภาพการย่อย และการดูดซึมอาหารของร่างกาย (Sales and Britz. 2001 ; Vargas *et al.* 2003)

สำหรับประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารเฉลี่ยของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* แต่ละขนาดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 80.9, 81.34 และ 80.89 เปอร์เซ็นต์ ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าฮือที่อาศัยอยู่ในเขตอบอุ่นชนิด *H. discus* และ *H. discus hannai* พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์ และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Yamasakai. 1998) โดยค่าประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ ถือได้ว่าร่างกายมี

ประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารสำเร็จที่ตี

5.3 อัตราการบริโภคออกซิเจน

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่กินอาหารสำเร็จในระดับโปรตีน 27.9 เปอร์เซ็นต์ มีการเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47, 13.94 และ 32.07 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรต่อวัน ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Baldwin *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษ้อัตราการบริโภคออกซิเจนของ *H. asinina* ที่มีขนาดตั้งแต่ 88 ถึง 138 กรัม ซึ่งพบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของหอยเป่าชื่อที่อยู่ในน้ำนิ่งมีการเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้นจาก 0.63 ถึง 1.28 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในหอยเป่าชื่อชนิด *H. discus hannai* ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และอยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม (20 องศาเซลเซียส) พบว่าข้อมูลมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนมีการเพิ่มขึ้นตามขนาด และมีค่าอยู่ในช่วง 4.42 ถึง 44.89 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรต่อวัน (Uki and Kikuchi. 1975) และเมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าชื่อในเขตหนาวพบว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีอัตราการบริโภคออกซิเจนที่สูงกว่า เนื่องจากหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* เป็นหอยเป่าชื่อในเขตร้อนซึ่งร่างกายมีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูง โดยจากการศึกษาของ Farías *et al.* (2003) พบว่าหอยชนิด *H. fulgens* มีอัตราการบริโภคออกซิเจนในช่วง 3.31 ถึง 18.89 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อตัวต่อวัน (อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส) ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร ตามลำดับ หรือจากการศึกษาของ Gaty and Wilson (1986) ในหอยเป่าชื่อชนิด *H. tuberculata* ซึ่งพบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.56 ถึง 19.65 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อตัวต่อวัน (อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส) ในหอยที่มีขนาดใกล้เคียงกันที่ทำการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการบริโภคออกซิเจนในน้ำหนักที่เท่ากันของหอยเป่าชื่อแต่ละขนาดพบว่า หอยเป่าชื่อที่มีขนาดเล็ก (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร) มีอัตราการบริโภคออกซิเจนมากกว่า หอยเป่าชื่อที่มีขนาดใหญ่ (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ) ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการกินอาหารที่สูง และจากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการบริโภคออกซิเจนที่มีค่าเลขยกกำลังเท่ากับ 0.78 (ภาพที่ 4.4) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในหอยเป่าชื่อชนิด *H. tuberculata*, *H. kamtschatkana* และ *H. fulgens* ที่มีค่าเลขยกกำลังเท่ากับ 0.77 (Peck *et al.* 1987), 0.78 (López Acuña. 1999), 0.74 (Donovan. 1996) และ 0.70 (Farías *et al.* 2003) ตามลำดับ พบว่าข้อมูลมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการบริโภคออกซิเจนของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีความคล้ายคลึงกับหอยเป่าชื่อชนิดอื่นๆ

การบริโภคออกซิเจนส่งผลให้ร่างกายมีการใช้พลังงานเท่ากับ 56.01, 79.13 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับได้ ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4

เซนติเมตร ตามลำดับ หอยเป่าอื้อทั้ง 3 ขนาดมีการใช้พลังงานเพื่อการบริโภคออกซิเจนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับ โดยหอยเป่าอื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร มีการใช้พลังงานเพื่อการบริโภคออกซิเจนสูงถึง 69 ถึง 79 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากหอยเป่าอื้อที่มีขนาดดังกล่าวอาจเริ่มมีการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ จึงทำให้ร่างกายมีความต้องการพลังงานมากขึ้น อัตราการเผาผลาญพลังงาน และอัตราการบริโภคออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษาของ Capinpin and Corre (1996) พบว่าหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* จะเริ่มมีการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์ในช่วงอายุประมาณ 90 ถึง 120 วัน ซึ่งมีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร และพบได้ทั้งในหอยเป่าอื้อที่กินอาหารสำเร็จ (โปรตีน 32.4 เปอร์เซ็นต์) และสำหรับชนิด *Gracilariopsis heteroclada* (โปรตีน 17.32 เปอร์เซ็นต์) เป็นอาหาร

5.4 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย

จากการศึกษาอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร และกินอาหารสำเร็จในระดับโปรตีน 27.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมีการเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27, 0.47 และ 0.68 มิลลิกรัม ในโครเจนแอมโมเนียมต่อตัวต่อวัน ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Farías *et al.* (2003) ในหอยเป่าอื้อชนิด *H. fulgens* ที่มีขนาดเท่ากัน โดยพบว่าอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมีการเพิ่มขึ้นตามขนาด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.24, 0.73 และ 1.54 มิลลิกรัม ในโครเจนแอมโมเนียมต่อตัวต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในน้ำหนักเท่ากันของหอยเป่าอื้อแต่ละขนาด พบว่าหอยเป่าอื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมากที่สุด รองลงมาคือหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ หอยเป่าอื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีอัตราการกินอาหารสูง และร่างกายมีการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงาน (โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนของอัตราการบริโภคออกซิเจนกับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (O:N ratio) ที่แสดงดังตารางที่ 5.1) จึงทำให้มีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมากกว่าหอยเป่าอื้อที่มีขนาดใหญ่ หอยเป่าอื้อที่มีขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (protease) ได้ดีกว่าหอยเป่าอื้อที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้สามารถนำโปรตีนมาใช้ประโยชน์ได้ดี (Shipton and Britz, 2001) อีกทั้งเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกาย

หอยเป่าอื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง ดังนั้นร่างกายจึงมีการใช้แหล่งพลังงานประเภทอื่นๆ ในการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ได้แก่ สารอาหารประเภทไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งทำให้อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของร่างกายลดลง นอกจากนั้นสภาวะของร่างกายที่อยู่ในช่วงการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งต้องมีการสะสมพลังงานในร่างกาย ดังนั้นไขมันจึงถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากให้พลังงานสูงกว่าสารอาหาร

ประเภทอื่นๆ

ค่าสัดส่วนของอัตราการใช้โปรตีนจากอาหารกับอัตราการใช้ไขมัน (O:N ratio) เป็นค่าบ่งบอกถึงชนิดของสารอาหารที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย (Bayne *et al.* 1976 ; Bayne and Widdows. 1978) โดยค่าสัดส่วนของอัตราการใช้โปรตีนจากอาหารกับอัตราการใช้ไขมันที่ใกล้เคียง 3 ถึง 16 แสดงถึงการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงาน ค่าที่ใกล้เคียง 20 แสดงถึงการใช้ทั้งโปรตีน และไขมันเป็นแหล่งพลังงาน และค่าที่มากกว่า 30 แสดงถึงการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว (Ikeda. 1974 ; Mayzaud and Conover. 1988 ; Mukai *et al.* 1989)

ตารางที่ 5.1 สัดส่วนของอัตราการใช้โปรตีนจากอาหารกับอัตราการใช้ไขมัน (O:N ratio) ในหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* แต่ละขนาด

ขนาดความยาวเปลือก เฉลี่ย(เซนติเมตร)	อัตราการใช้โปรตีนจากอาหาร เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	อัตราการใช้ไขมัน เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	O:N ratio
2	4.469	0.267	14.65
3	13.935	0.466	26.09
4	32.067	0.684	41.07

จากสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอัตราการใช้ไขมันที่มีค่าเลขยกกำลังเท่ากับ 0.44 (ภาพที่ 4.5) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในหอยเป่าฮือชนิด *H. fulgens* และ *H. tuberculata* ที่มีค่าเลขยกกำลังเท่ากับ 0.85 (Farías *et al.* 2003) และ 0.66 (Peck *et al.* 1987) พบว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีค่าต่ำกว่า ซึ่งอาจเกิดจากหอยเป่าฮือที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร แต่ละตัวมีปริมาณการกินอาหารที่แตกต่างกัน โดยอาจเป็นมาจากค่าพลังงานและปริมาณโปรตีนในอาหารมีมากเกินความต้องการจึงทำให้อัตราการกินอาหารไม่สม่ำเสมอในแต่ละมือ ส่งผลให้อัตราการใช้ไขมันของหอยเป่าฮือแต่ละตัวแตกต่างกัน

จากข้อมูลอัตราการใช้ไขมันของหอยเป่าฮือแต่ละขนาดทำให้ทราบถึงปริมาณไขมันที่ขับในแต่ละวัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอาจนำมาประยุกต์ใช้ต่อการกำหนดอัตราการใช้โปรตีนในหอยเป่าฮือในระบบเลี้ยงที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด ซึ่งช่วยทำให้ปริมาณไขมันที่ละลายในน้ำในระหว่างการเลี้ยงไม่มากเกินไปจนมีผลกระทบต่ออาหาร และการเจริญเติบโตของร่างกาย

5.5 การจัดสรรพลังงานของร่างกาย

การจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือก 2, 3 และ 4 เซนติเมตร พบว่ามีการจัดสรรพลังงานในรูปแบบเดียวกันคือ พลังงานที่ร่างกายได้รับจะถูก

ใช้ในการบริโภคออกซิเจนมากที่สุดเช่นเดียวกับในปลา (Jobling, 1994) รองลงมาคือ การใช้ในการเจริญเติบโต และการขับถ่ายแอมโมเนีย ตามลำดับ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับข้อมูลของหอยเป่าฮื้อ และหอยฝาเดี่ยวชนิดต่างๆ ที่แสดงดังตารางที่ 5.2 โดยมีการจัดสรรพลังงานเพื่อใช้ในการบริโภคออกซิเจนอยู่ในช่วง 19.2 ถึง 73.2 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกายในช่วง 4.57 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียอยู่ในช่วง 1 ถึง 2.37 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับ แต่หอยแต่ละขนาดจะมีการจัดสรรพลังงานในแต่ละส่วนที่แตกต่างกัน โดยหอยที่มีขนาดใหญ่จะมีการใช้พลังงานที่ได้รับเพื่อการบริโภคออกซิเจนมากกว่าหอยที่มีขนาดเล็ก และมีการใช้พลังงานที่ได้รับสำหรับการขับถ่ายแอมโมเนีย และการเจริญเติบโตน้อยกว่าหอยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาชีวพลังงานในหอยเป่าฮื้อชนิด *H. tuberculata* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 9.5 เซนติเมตร โดยพบว่าร่างกายมีการใช้พลังงานในการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 28.29 เป็น 35.52 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงานในการขับถ่ายแอมโมเนียลดลงจาก 1.72 เป็น 1.09 เปอร์เซ็นต์ และใช้พลังงานในการเจริญเติบโตลดลงจาก 33.33 เป็น 20.8 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับ (Peck *et al.* 1987)

5.6 พลังงานที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโต

จากการศึกษาในครั้งนี้หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ได้รับพลังงานที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตในแต่ละวันเท่ากับ 66.17, 65.69 และ 274.32 จูล ซึ่งคิดเป็น 40.79, 18.35 และ 29.29 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับ โดยหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณพลังงานที่ได้รับสำหรับการเจริญเติบโตมีแนวโน้มลดลง ข้อมูลดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาสมการชีวพลังงานของ Peck *et al.* (1987) ในหอยเป่าฮื้อชนิด *H. tuberculata* ที่มีขนาดความยาวเปลือกตั้งแต่ 2 ถึง 9.5 เซนติเมตร และได้รับสาหร่ายชนิด *Ulva lactuca* เป็นอาหาร โดยพบว่าพลังงานที่ร่างกายได้รับสำหรับการเจริญเติบโตมีการลดลงจาก 45.15 เป็น 20.8 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับในแต่ละวัน

ปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับสำหรับการเจริญเติบโตของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ไม่ได้ถูกใช้เพื่อการเจริญโตของร่างกายเพียงอย่างเดียว แต่ยังถูกใช้ในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ และการขับเมือก ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่ได้ทำการศึกษา เนื่องจากมีข้อจำกัดทางการศึกษาในด้านของ ความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมตัวอย่าง รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และจากการทดลองทำการเก็บตัวอย่างเมือก โดยการนำกระจกมาตัดให้ได้ขนาด แล้วสอดใส่ในตู้ทดลองทุกๆด้านให้พอดีกับขนาดของตู้ทดลองก่อนทำการให้อาหาร หลังจากนั้นให้หอยเป่าฮื้ออยู่อาศัยตามปกติ และในตอนเช้าหลังจากเก็บเศษอาหารเหลือจะนำกระจกมาชะล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างเมือก จากการสังเกตพบว่า มีคราบเมือกอยู่ที่กระจกเฉพาะบริเวณที่หอยเกาะอยู่กับที่เท่านั้น สำหรับ

ตารางที่ 5.2 การจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยเป่าฮื้อ และหอยฝาเดียวชนิดอื่นๆ

ชนิด	ชนิดของอาหาร	C	Ab	R	U	P	เอกสารอ้างอิง
หอยเป่าฮื้อ							
<i>H. asinina</i>	อาหารสำเร็จ (27 เปอร์เซ็นต์โปรตีน)	0.59	81.04	68.17	2.37	29.44	จากการศึกษาครั้งนี้
<i>H. tuberculata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	-	82.7	29.5	1.58	29.78*	Peck <i>et al.</i> (1987)
<i>H. kamschatkana</i>	<i>Nereocystis luetkeana</i>	-	80.45	59.5	น้อยกว่า 1	6*	Donovan (1998)
<i>H. fulgens</i>	อาหารสำเร็จ (30.8 เปอร์เซ็นต์โปรตีน)	0.57	87.1	40.9	2.2	45	Farias <i>et al.</i> (2003)
<i>H. fulgens</i> (juvenile)	อาหารสำเร็จ (26 เปอร์เซ็นต์โปรตีน)	-	62.34	23.68	-	10.16*	Montes <i>et al.</i> (2003)
หอยฝาเดียวชนิดอื่น							
<i>Fissurella barbadensis</i>	-	-	33.6	73.2	-	27	Hughes (1971)
<i>Chiton pelliserpentis</i> (High shore)	-	-	93.9	19.2	-	4.95*	Horn (1986)
<i>Chiton pelliserpentis</i> (Low shore)	-	-	88.1	29.48	-	4.57*	Horn (1986)
<i>Patella vulgate</i>	-	-	44.9	35.9	-	11.8*	Davies <i>et al.</i> (1990)
<i>Lottia kogamogai</i>	microflora and detritus	-	66.1	19.3	-	8.5*	Niu <i>et al.</i> (1998)

หมายเหตุ C : ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว), Ab : ประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์), R : พลังงานที่ใช้ในการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ต่อพลังงานที่ได้รับ), U : พลังงานที่ใช้ในการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ต่อพลังงานที่ได้รับ), P : พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ต่อพลังงานที่ได้รับ),

* : มีการแยกพลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือก

บริเวณอื่นๆ ไม่มีเมือกเกาะติดอยู่ และหลังจากเก็บรวบรวมตัวอย่างเมือกในรูปของน้ำหนักรวบรวมพบว่าปริมาณเมือกที่ได้ในแต่ละวันน้อยมาก ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาหลายวันในการเก็บรวบรวม อีกทั้งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักกระจกที่มีขนาดใหญ่โดยใช้เครื่องชั่งแบบหยาบทศนิยม 2 ตำแหน่ง

โดยปกติการศึกษาทางด้านชีวพลังงานมักจะไม่มีการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือก เนื่องจากยากต่อการประเมิน แต่หอยฝาเดียวจะต้องมีการผลิตเมือกเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งร่างกายต้องมีการใช้พลังงาน ดังนั้นนักวิจัยจึงได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของการประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือกต่อการศึกษาทางด้านชีวพลังงานในหอยฝาเดียวมากขึ้น ซึ่งค่าพลังงานดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันในหอยแต่ละชนิดแสดงได้ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งพบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือกมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 63.7 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับ

ตารางที่ 5.3 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือกของหอยเป่าฮือ และหอยฝาเดียวชนิดต่างๆ

ชนิด	พลังงานที่ใช้ในการผลิตเมือก (เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับ)	เอกสารอ้างอิง
<i>H. tuberculata</i>	29.3 ถึง 30.7	Peck <i>et al.</i> (1987)
<i>H. kamtschatica</i>	1	Donovan (1998)
<i>Patella vulgate</i>	23	Davies <i>et al.</i> (1990)
<i>Lottia kogamogai</i>	47.6	Niu <i>et al.</i> (1998)
<i>Chiton pelliserpentis</i>	63.7	Horn (1986)

จากการศึกษาในครั้งนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายต้องการได้รับสำหรับการเจริญเติบโตอย่างแท้จริง แต่ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพอาหารให้มีปริมาณพลังงานเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตจะมีการนำพลังงานตามความต้องการของร่างกายเพื่อใช้ในกระบวนการสรีรวิทยาต่างๆ และใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณพลังงานที่หอยเป่าฮือแต่ละขนาดต้องการ คือ ปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับในแต่ละวันซึ่งเท่ากับ 162.21, 358.03 และ 939.52 จูลต่อวัน ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยพลังงานดังกล่าวได้จากการกินอาหารในปริมาณ 0.016, 0.036 และ 0.102 กรัมน้ำหนักแห้งของอาหารต่อตัวต่อวัน เพราะฉะนั้นค่าพลังงานในอาหารสำหรับเลี้ยงหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ถึง 4 เซนติเมตร ควรมีค่าเท่ากับ 2,413.84, 2,367.92 และ 2,193.09 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือมีค่าพลังงานในอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 2,324.55 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

5.7 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต K_1 และ K_2 เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของร่างกายในการนำพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมด และพลังงานที่ร่างกายได้รับจากอาหารหลังจากการย่อย และดูดซึมอาหารมาใช้เพื่อการเจริญเติบโต จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตเฉลี่ยของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีค่าเท่ากับ 16.7 และ 29.3 เปอร์เซ็นต์ (ค่า K_1 และ K_2 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าชื่อชนิดอื่นๆ และหอย 2 ฝา ที่แสดงดังตารางที่ 5.4 พบว่าหอยเป่าชื่อ *H. asinina* มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตต่ำสุด โดยต่ำกว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. fulgens* ที่กินอาหารชนิดเดียวกันแต่มีระดับโปรตีนในอาหารที่สูงกว่า (อาหารสำเร็จที่มีระดับโปรตีน 30.8 เปอร์เซ็นต์) หอยเป่าชื่อชนิด *H. tuberculata* และ *H. midae* มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตต่ำกว่าหอยเป่าชื่อชนิด *H. fulgens* เนื่องจากกินอาหารธรรมชาติ ซึ่งยากต่อการย่อย และการดูดซึมอาหารของร่างกายสำหรับหอย 2 ฝาทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสูง เมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าชื่อ โดยเฉพาะชนิด *Ostrea edulis* สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากหอย 2 ฝามีพฤติกรรมการกินอาหารแบบกรองกิน ซึ่งร่างกายไม่ต้องใช้พลังงานในการผลิตเมือกเพื่อการเคลื่อนที่หาอาหาร และไม่ต้องใช้พลังงานในการขูดแทะอาหารหรือการกินอาหาร จึงทำให้มีพลังงานที่เหลือสำหรับการเจริญเติบโตมาก ดังนั้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตจึงสูงถึง 86.3 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตเฉลี่ยของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* และหอยชนิดต่างๆ

ชนิด	K_1 (เปอร์เซ็นต์)	K_2 (เปอร์เซ็นต์)	เอกสารอ้างอิง
<i>H. asinina</i>	16.7	29.3	จากการศึกษาครั้งนี้
<i>H. tuberculata</i>	22.3	34	Peck <i>et al.</i> (1987)
<i>H. midae</i>	5	35.1	Barkai and Griffiths (1998)
<i>H. fulgens</i>	36	41	Fariás <i>et al.</i> (2003)
<i>Argopecten purpuratus</i>	18.65	40.87	Martínez <i>et al.</i> (1995)
<i>Ostrea edulis</i> (juvenile)	63.8	86.3	Beiras <i>et al.</i> (1995)

หอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตต่ำอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. หอยเป่าชื่อมีการสูญเสียพลังงานเพื่อใช้ในการกระบวนการบริโภคออกซิเจนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ร่างกายได้รับ จึงทำให้มีพลังงานที่เหลือสำหรับการเจริญเติบโตน้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพการเจริญเติบโตจึงต่ำ

2. ค่าพลังงาน และปริมาณโปรตีนในอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าสูงเกินกว่าความต้องการของร่างกายสำหรับหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* จึงมีผลทำให้อัตราการกินอาหารลดลง และ

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต โดยจากการศึกษาของ วัลลภ อิมสุวรรณ (2547) ที่ศึกษาถึงอัตราส่วนของพลังงานต่อโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำเร็จสำหรับเลี้ยงหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ผลจากการศึกษาพบว่า อาหารสำเร็จที่เหมาะสมสำหรับหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ควรมีโปรตีนที่ระดับ 25.2 เปอร์เซ็นต์ (ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร) และค่าพลังงานในอาหารเท่ากับ 186.48 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (1864.8 กิโลแคลอรีต่อ กิโลกรัม) ซึ่งมีค่าสัดส่วนของพลังงานต่อโปรตีนเท่ากับ 7.4 และอาหารสูตรดังกล่าวนี้เป็นอาหารที่มีระดับพลังงาน และโปรตีนต่ำสุดจากการทดลอง ข้อมูลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ อภิชา เข้มเกษร (2538) ที่ศึกษาถึงระดับ และแหล่งของโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำเร็จสำหรับหอยเป่าชื่อไทยชนิด *H. ovina* โดยพบว่าระดับโปรตีนในอาหารสำเร็จควรอยู่ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ (ใช้ปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร) แต่จากการศึกษาของ มณฑกานติ ท้ามตัน และคณะ (2545) พบว่าระดับโปรตีนในอาหารสำเร็จที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ควรอยู่ที่ระดับ 38 เปอร์เซ็นต์ (ใช้กากถั่วเหลืองผสมสไปรูไลน่าเป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร) และเมื่อลดระดับโปรตีนในอาหารจาก 38 เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง 5 เปอร์เซ็นต์

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในหอยฝาเดียวที่กินเนื้อเป็นอาหาร (carnivorous) พบว่าระดับความต้องการโปรตีนในอาหารสำเร็จอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาของ ชลธิ์ ไพบุลย์กิจกุล และคณะ (2551) พบว่าหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link) ในระยะ juvenile มีความต้องการโปรตีนในอาหารสำเร็จอยู่ที่ระดับ 29 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานในอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 4138.48 กิโลแคลอรีต่อ กิโลกรัม

3. ผลร่วมกันระหว่างการเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย ประกอบกับการให้อาหารที่มีค่าพลังงาน และปริมาณโปรตีนสูง จึงทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกสู่ระบบเลี้ยงในปริมาณมากทั้งจากเศษอาหารเหลือ และการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าชื่อ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจมีผลต่อคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตในสภาวะปกติ และอาจมีผลต่ออัตราการกินอาหาร และการเจริญเติบโตที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการทดลอง หอยเป่าชื่อทั้ง 3 ขนาดมีอัตราการรอดที่สูง ซึ่งเท่ากับ 93, 83 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมการชีวพลังงานของหอยเป่าฮือไทยชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ที่ได้รับอาหารสำเร็จในระดับโปรตีน 27.9 เปอร์เซ็นต์เป็นอาหาร พบว่าหอยที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 2.22, 3.27 และ 4.16 เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 2.14, 7.51 และ 19.31 กรัม ขนาดความยาวเปลือกกับน้ำหนักแห้งของหอยเป่าฮือมีความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลในรูปของสมการเลขยกกำลัง $DTW = 0.0104L^{3.6398}$ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

สำหรับการทดลองวัดอัตราทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่ประกอบด้วยปริมาณกินอาหาร ประสิทธิภาพการย่อย และดูดซึมอาหาร อัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย พบว่าปริมาณกินอาหารจะเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการ $F = 0.0475DTW^{0.805}$ และเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว พบว่าอัตราการกินอาหารจะลดลงเมื่อขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 0.51 ถึง 0.75 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของอาหารต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ประสิทธิภาพการย่อยอาหารมีการลดลงตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 65.87 ถึง 73.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประสิทธิภาพการดูดซึมอาหารพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันของหอยทั้ง 3 ขนาด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.04 เปอร์เซ็นต์ อัตราการบริโภคออกซิเจนมีการเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการ $R = 16.169DTW^{0.7753}$ โดยหอยแต่ละขนาดมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยเท่ากับ 4.47, 13.93 และ 32.07 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรต่อวัน ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียพบว่า มีอัตราที่เพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการ $U = 0.4374DTW^{0.4415}$ และหอยแต่ละขนาดมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.27, 0.47 และ 0.68 มิลลิกรัมไนโตรเจนแอมโมเนียต่อลิตรต่อวัน ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียในน้ำหนักที่เท่ากัน พบว่า หอยเป่าฮือที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีอัตราการบริโภคออกซิเจน และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียสูงสุด รองลงมาคือ หอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในแต่ละวันหอยเป่าฮือได้รับพลังงานเท่ากับ 162.21, 358.03 และ 939.52 จูล ในหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ พลังงานในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการบริโภคออกซิเจนในสัดส่วน 56.01, 79.13 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ การขับถ่ายแอมโมเนีย 3.19, 2.52 และ 1.41 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโต 40.79, 18.35 และ 29.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พลังงานส่วนที่เหลือสำหรับการเจริญเติบโตนี้จะไม่

ถูกใช้เพื่อการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียว แต่ถูกใช้เพื่อการผลิตเมือก และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของร่างกาย และจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปการจัดสรรพลังงานของร่างกายในหอยเป่าฮื้อแต่ละขนาดได้ดังตารางที่ 6.1 โดยหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร มีการใช้พลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมดเพื่อการบริโภคออกซิเจน 33.31 เปอร์เซ็นต์ การขับถ่ายแอมโมเนีย 1.89 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโต 24.26 เปอร์เซ็นต์ หอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร มีการใช้พลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมดเพื่อการบริโภคออกซิเจน 45.02 เปอร์เซ็นต์ การขับถ่ายแอมโมเนีย 1.43 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโต 10.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร มีการใช้พลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมดเพื่อการบริโภคออกซิเจน 36.97 เปอร์เซ็นต์ การขับถ่ายแอมโมเนีย 0.75 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญเติบโต 15.55 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.1 การจัดสรรพลังงานของร่างกายจากพลังงานที่กินเข้าไปทั้งหมดในหอยเป่าฮื้อไทยชนิด

H. asinina แต่ละขนาด

ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	พลังงานที่ใช้เพื่อการบริโภคออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานที่ใช้เพื่อการขับถ่ายแอมโมเนีย (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานที่ใช้เพื่อการเจริญเติบโต (เปอร์เซ็นต์)	พลังงานที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ (เปอร์เซ็นต์)
2	33.31	1.89	24.26	40.54
3	45.02	1.43	10.44	43.10
4	36.97	0.75	15.55	46.72

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาคุณภาพอาหารสำเร็จให้เหมาะสมสำเร็จการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* โดยการปรับค่าพลังงาน และปริมาณโปรตีนในอาหารลดลง ซึ่งจะทำให้หอยเป่าฮื้อกินอาหารมากขึ้น และมีพลังงานที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งการเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสม และมีคุณภาพในการทำอาหาร ซึ่งทำให้หอยเป่าฮื้อสามารถย่อย และดูดซึมอาหารได้ดีขึ้น

2. การทำให้หอยเป่าฮื้อได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมากขึ้นอาจทำได้โดยการให้อาหารในปริมาณมากขึ้น และให้แบบมีการกระจายตัวของอาหาร เพื่อหอยจะได้หาอาหารได้ง่าย และกินอาหารได้อย่างเพียงพอ

3. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายต้องใช้ในการผลิตเมือก, การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตในหอยเป่าฮื้อแต่ละขนาด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้จะทำให้ทราบถึงความต้องการพลังงานของร่างกายเพื่อใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาอย่างครบถ้วน และถูกต้องยิ่งขึ้น และมีประสิทธิภาพต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในค้ำนต่างๆ

4. ควรทำการศึกษาชีวพลังงานในหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดตั้งแต่เริ่มกินอาหารสำเร็จ (5 ถึง 6 มิลลิเมตร) จนถึงขนาดตลาด (4 เซนติเมตรขึ้นไป) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในด้านโภชนาการ และการจัดการระบบเลี้ยงหอยเป่าฮื้อที่มีการหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด เพื่อการประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยง

บรรณานุกรม

- จักรพันธ์ กังวาฬ. 2548. เป้าอื้อจากธรรมชาติสู่ฟาร์มเลี้ยง. [Online]. Available : <http://www.sara-kadee.com/cms/modules.php>.
- ชติ ไพบูลย์กิจกุล ทิราภรณ์ โยระคง และเบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล. 2551. “ระดับโปรตีนที่เหมาะสมของอาหารสำเร็จรูป.” วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 13 (1) : 103-113.
- ธนศ พุ่มทอง นพดล ภูพานิช และนริสา หนูสอน. 2549. การทดลองเลี้ยงหอยเป้าอื้อ (*Haliotis asinina* Linnaeus, 1758) จากขนาดความยาวเปลือกต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 13/2549, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- บพิท จารุพันธ์ และนันทพร จารุพันธ์. 2546. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังIIแอนเนลิดาถึงโทรโทคอร์ดาตา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประพันธ์พงศ์ เพชรรัตน์ สกนธ์ แสงประดับ สิริวรรณ หนูแข่ง และอุทัย รัตนอุบล. 2549. เปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยงหอยเป้าอื้อ (*Haliotis asinina* Linnaeus, 1758) ที่ต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 21/2549, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- มนทกานติ ท้ามดิน ชูชาติ ชัยรัตน์ สุพิศ ทองรอด และมะลิ บุญรัตผลิน. 2545. ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารหอยเป้าอื้อ (*Haliotis asinina*, Linne). เพชรบุรี : สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี.
- วัลลภ อิมสุวรรณ. 2547. “อัตราส่วนของพลังงานต่อโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำเร็จสำหรับหอยเป้าอื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิลา แทนสา. 2549. “การกินอาหารและความสามารถในการย่อยอาหารของหอยเป้าอื้อชนิด *Haliotis asinina* ที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายหนาม (*Acanthophora specifera*).” ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สกนธ์ แสงประดับ ทวี โรจนสารัมภกิจ และมะลิ บุญรัตผลิน. 2546. “ผลของสาหร่ายผสมนาง (*Gracilaria fisheri*) ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการกินอาหาร และอัตราการรอดตายของหอยเป้าอื้อ (*Haliotis asinina*).” ใน การสัมมนาวิชาการประมงประจำปี 2546. กรุงเทพฯ : กรมประมง.

- อภิชา เข้มเกสร. 2547. “ระดับและแหล่งของโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำเร็จสำหรับหอยเป่าชื่อ *Haliotis ovina* Gmelin, 1791.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีทางชีวภาพ) บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- AOAC. 1990. **Official Method of Analysis**. Vol 1. 15th ed. Washington DC : Association of Official Analytical Chemists.
- Baldwin, J., Elias, J.P., Wells, R.M.G. and Donovan, D.A. 2007. “Energy Metabolism in the Tropical Abalone, *Haliotis asinina* Linne: Comparisons with Temperate Abalone Species.” **Journal of Experiment Marine Biology and Ecology**. 342 : 213-225.
- Barkai, B. and Griffiths, C.L. 1998. “An Energy Budget for the South Africa Abalone *Haliotis midae* Linnaeus.” **Journal of Molluscan Study**. 54 : 43-51.
- Bautista-Teruel, M.N., Fermin, A.C. and Koshio, S.S. 2003. “Diet Development and Evaluation for Juvenile Abalone, *Haliotis asinina*: Animal and Plant Protein Sources.” **Aquaculture**. 219 : 645-653.
- Bautista-Teruel, M.N. and Millamena, O.M. 1999. “Diet Development and Evaluation for Juvenile Abalone, *Haliotis asinina*: Protein/Energy Levels.” **Aquaculture**. 178 : 117-126.
- Bayne, B.L., Bayne, C.J., Carefoot, T.C. and Thompson, R.J. 1976. “The Physiological Ecology of *Mytilus californianus* : Conrad 1. Metabolism and Energy Balance.” **Oecologia**. 22 : 211-228.
- Bayne, B.L. and Widdows, J. 1978. “The Physiological Ecology of Two Populations of *Mytilus edulis* L.” **Oecologia**. 37 : 137-162.
- Beiras, R., Camacho A.P. and Albentosa, M. 1995. “Short-Term and Long-Term Alteration in the Energy Budget of Young Oyster *Ostrea edulis* L. in Response to Temperature Change.” **Journal of Experiment Marine Biology and Ecology**. 186 : 221-236.
- Bureau, D.P. 2004. “Factors Affecting Metabolic Waste Outputs in Fish.” In Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. and González, M. **Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola**. Sonora : Hermosillo.
- Capinpin, E.C. and Corre, K.G. 1996. “Growth Rate of the Philippine Abalone, *Haliotis asinina* Fed on Artificial Diet and Macroalgae.” **Aquaculture**. 144 : 81-89.

- Chen, H.C. 1989. "Farming the small abalone *Haliotis diversicolor supertexta* in Taiwan." 265-283. In Hahn, K.O. **Handbook of culture of Abalone and Other Marine Gastropods**. Boca Raton : CRC Press.
- Conover, R.J. 1966. "Assimilation of Organic Matter by Zooplankton." **Limnology Oceanography**. 11 : 338-345.
- Davies, M.S. and Hatcher, A.M. 1998. "The Energy Budget: a Useful Tool?." **Annual Zoological Fennici** 35 : 231-240.
- Davies, M.S., Hawkins, S.J. and Jones, H.D. 1990. "Mucus Production and Physiological Energetics in *Patella vulgate* L." **Journal of Molluscan Study**. 56 : 499-503.
- Donovan, D.A. 1998. "Energetics of Activity in the Abalone, *Haliotis Kamtschatkana*." Doctor of Philosophy in the Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia.
- Farias, A., Esquivel, Z.G. and Viana, M.T. 2003. "Physiological Energetics of the Green Abalone, *Haliotis fulgens*, Fed on a Balanced Diet." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 289 : 263-276.
- Fishtech. 2007. **World Abalone Farming**. [Online]. Available : <http://www.fishtech.com/farming.html>.
- Gaty, G. and Wilson, J.H. 1986. "Effect of Body Size, Starvation, Temperature and Oxygen Tension on the Oxygen Consumption of Hatchery-Reared Ormers *Haliotis tuberculata* L." **Aquaculture**. 56 : 229-237.
- Hahn, K.O. 1989. **Handbook of Culture Abalone and other Marine gastropods**. Boca Raton : CRC Press.
- Halver, J.E. and Hardy, R.W. 2002. **Fish Nutrition**. 3rd ed. California : Academic Press.
- Hone, P. and Fleming, A. 1997. **Abalone**. [Online]. Available : <http://www.rirdc.gov.au/pub/handbook/abalone.html>.
- Horn, P.L. 1986. "Energetics of *Chiton pelliserpentis* (Quoy & Gaimard, 1835) (Mollusca : Polyplacophora) and the Importance of mucus in its Energy Budget." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 101 : 119-141.
- Hughes, R.N. 1971. "Ecological Energetics of the Keyhole Limpet *Fissurella barbadensis* Gmelin." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 6 : 167-178.
- Ikeda, T. 1974. "Nutritional Ecology of Marine Zooplankton." **Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University**. 22 : 1-97.

- Jarayabhand, P. and Paphavasit, N. 1996. "A Review of the Culture of Tropical Abalone with Special Reference to Thailand." **Aquaculture**. 140 : 159-168.
- Jobling, M. 1994. **Fish Bioenergetics**. London : Chapman&Hall.
- Leighton, D.L. 2000. **The Biology and Culture of the California Abalones**. Pittsburgh : Dorrance.
- López Acuña, L.M. 1999. "Growth and the Energy Budget of Juvenile of the Abalone *Haliotis tuberculata* (L.)." Doctor of Philosophy, Department of Oceanography, University of Southampton Faculty of Sciences.
- Martínez, G., Caceres, L.A., Uribe, E. and Diaz, M.A. 1995. "Effects of Different Feeding Regimens on Larval Growth and the Energy Budget of Juvenile Chilean Scallops, *Argopecten purpuratus* Lamarck." **Aquaculture**. 132 : 313-323.
- Mayzaud, P. and Conover, R.J. 1988. "O:N Atomic Ratio as a Tool to Describe Zooplankton Metabolism." **Marine Ecology Progress Series**. 45 : 289-302.
- Montes, L.G., Esquivel, Z.G., D'Abramo, L.R., Shimada, A., Peláez, C.V. and Viana, M.T. 2003. "Effect of Dietary Protein:energy Ratio on Intake, Growth and Metabolism of Juvenile Green Abalone *Haliotis fulgens*." **Aquaculture**. 220 : 769-780.
- Moran, A.L. and Manahan, D.T. 2003. "Energy Metabolism During Larval Development of Green and White Abalone, *Haliotis fulgens* and *H. sorenseni*." **Biology Bulletin**. 204 : 270-277.
- Mukai, H., Koike, I., Nishihira, M. and Nojima, S. 1989. "Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Mega-Sized Benthic Invertebrates in Tropical Seagrass Bed." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 134 : 101-115.
- Niu, C.J., Nakao, S. and Goshima, S. 1998. "Energetics of the Limpet *Lottia Kogamogai* (Gastropoda:Acmaeidae) in an Intertidal Rocky Shore in Southern Hokkaido, Japan." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 224 : 167-181.
- Peck, L.S., Culley, M.B. and Helm, M.M. 1987. "A Laboratory Energy Budget for the Ormer *Haliotis tuberculata* L." **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 106 : 103-123.
- Regional Seafarming Development and Demonstration Project. 1990. **Training Manual on Artificial Breeding of Abalone (*Haliotis discus hannai*) in Korea DPR**. 7. Kosong : Shallow Seafarming Research Institute.

- Sales, J. and Britz, P.J. 2001. "Evaluation of Different Makers to Determine Apparent Nutrient Digestibility Coefficients of Feed Ingredients for South African Abalone (*Haliotis midae* L.)." **Aquaculture**. 202 : 113-129.
- Setyono, D.E.D. 2005. "Abalone (*Haliotis asinina* L.): 5 Early Juvenile Rearing and Ongrowing Culture." **Nomor**. 2 : 1-10.
- Shipton, T.A. and Britz, P.J. 2001. "The Effect of Animal Size on the Ability of *Haliotis midae* L. to Utilize Selected Dietary Protein Sources." **Aquaculture Research**. 32 : 393-403.
- Singhagraiwan, T. and Doi, M. 1993. **Seed Production and Culture of a Tropical Abalone, *Haliotis asinina* Linne**. The Research Project of Fishery Resources Development in Kingdom of Thailand, The eastern Marine Fisheries Development Center (EMFDC), Department of Fisheries.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Bulletin 167, Fisheries Research Board of Canada.
- Thongrod, S., Tamtin, M., Chairat, C. and Boonyaratpalin, M. 2003. "Lipid to Carbohydrate Ratio in Donkey's Ear Abalone (*Haliotis asinina*, Linne) Diets." **Aquaculture**. 225 : 165-174.
- Uki, N. and Kikuchi, S. 1975. "Oxygen Consumption of the Abalone, *Haliotis discus hannai* in Relation to Body Size and Temperature." **Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory**. 35 : 73.
- Uki, N and Watanabe, T. 1992. "Review of Nutritional Requirements of Abalone (*Haliotis* sp.) and Development of More Efficient Artificial Diets." In Shepherd, S.A., Tenger, M.J., Guzman del proo, S.A. **Abalone of the World Biology, Fisheries and Culture**. Oxford : Fishing News Books.
- Vargas, J.M., Shimada, A., Vásquez, C. and Viana, M.T. 2002. "Methods of Measuring Feed Digestibility in the Green Abalone (*Haliotis fulgens*)." **Aquaculture**. 213 : 339-346.
- Widdows, J. 1983. "Physiological Responses to pollution". **Marine Pollution**. 16(4) : 129-134.
- Yamasakai, M. 1998. "Energy Budget of Laboratory reared Juvenile Abalone *Haliotis discus* and *Haliotis discus hannai*." **Bulletin of Tohoku National Fisheries Research Institute**. 60 : 63-68.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลการทดลอง

ตารางภาคผนวก ก. 1 อุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเฉลี่ยของระบบเลี้ยง
ในระหว่างการทำการทดลอง

การทำการทดลอง	ความยาวเปลือก		ความยาวเปลือก		ความยาวเปลือก	
	2 เซนติเมตร		3 เซนติเมตร		4 เซนติเมตร	
	อุณหภูมิ	ความเค็ม	อุณหภูมิ	ความเค็ม	อุณหภูมิ	ความเค็ม
ปริมาณการกินอาหาร	27.7	31	28	31	28.8	31
	26.5	30	27.8	31	28.8	31
	27.4	31	27.5	31	28.5	32
การขับถ่ายแอมโมเนีย			28	31.5	28.5	32
	28	30	27.2	31	27.6	30
	28.8	30	27	32	27.9	30
การบริโภคนอกซีเจน	29.1	30			27.9	30
	28	30	28	31	27	31
	28	30	28	31	27.4	31
	28	30	28	31	27.5	31
	28	30	28	31	28	31
	28	30	28	31	28.3	31
	28.5	30	28	31	28.5	31
	28.5	30	28.9	31.5	28	31
	28.5	30	28.5	31.5	28.1	31
	29.4	31	28.2	31.5	28.5	31
	30	31	28	31.5	28.8	31
	30.2	31	28	31.5	28.9	31
	30.2	31	28	31.5	29	31
	30.5	31	27.2	31	28	31
	30.5	31	27	31	28.1	31
29	32	27	31	28.1	31	
29.4	32	27	31	28.2	31	
29.1	32	27	31	28.3	31	
30	32	27	31	28.2	31	
30	32	27.2	31	27.6	30.5	
30	32	26.9	31	27.8	30.5	

ตารางภาคผนวก ก. 1 (ต่อ)

การทำการทดลอง	ความยาวเปลือก		ความยาวเปลือก		ความยาวเปลือก	
	2 เซนติเมตร		3 เซนติเมตร		4 เซนติเมตร	
	อุณหภูมิ	ความเค็ม	อุณหภูมิ	ความเค็ม	อุณหภูมิ	ความเค็ม
	30	32	27.8	31	27.8	30.5
	30.1	32	27.4	31	27.9	30.5
	30.1	32	27.3	31	28	30.5
	27	31	27.2	31	28	30.5
การบริโภคน้ำ	28	31	28.5	31		
ออกซิเจน	27.5	31	28	31		
			27.9	31		
			27.5	31		
			27.2	31		
			27	31		
ปริมาณแอมโมเนีย ที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของระบบเลี้ยง	0.14		0.13		0.18	

ตารางภาคผนวก ก. 2 ข้อมูลปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (กรัม/น้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร

วันที่	ตู้ทดลองที่ 1	ตู้ทดลองที่ 2	ตู้ทดลองที่ 3	ตู้ทดลองที่ 4	ตู้ทดลองที่ 5	ตู้ทดลองที่ 6
1	0.0153	0.0167	0.0168	0.0138	0.0207	0.0115
2	0.0121	0.0156	0.0156	0.0143	0.0119	0.0128
3	0.0181	0.0217	0.0229	0.0123	0.017	0.0153
4	0.0165	0.0205	0.0196	0.0172	0.0203	0.0167
5	0.0166	0.0184	0.0216	0.0136	0.0163	0.0172
6	0.0125	0.0167	0.0162	0.0128	0.0175	0.00957
ค่าเฉลี่ย	0.0152	0.0183	0.0188	0.0140	0.0173	0.0138
น้ำหนักเฉลี่ย	2.061	2.279	2.139	2.059	2.155	2.136

ตารางภาคผนวก ก. 3 ข้อมูลปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (กรัมน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร

วันที่	ตู้ทดลองที่ 1	ตู้ทดลองที่ 2	ตู้ทดลองที่ 3	ตู้ทดลองที่ 4	ตู้ทดลองที่ 5	ตู้ทดลองที่ 6	ตู้ทดลองที่ 7	ตู้ทดลองที่ 8	ตู้ทดลองที่ 9
1	0.0423	0.0328	0.0426	0.0363	0.0426	0.0404	0.0475	0.037	0.0328
2	0.0249	0.0153	0.0238	0.0367	0.0407	0.0383	0.0398	0.0295	0.0339
3	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	0.0296	0.0197	0.03	0.0292	0.0167	0.021
ค่าเฉลี่ย	0.0336	0.0328	0.0332	0.0365	0.0417	0.0394	0.0437	0.0333	0.0334
น้ำหนัก	7.297	7.337	7.514	7.736	7.599	7.25	7.868	7.444	7.548

ตารางภาคผนวก ก. 4 ข้อมูลปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (กรัมน้ำหนักแห้ง) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร

วันที่	ตู้ทดลองที่ 1	ตู้ทดลองที่ 2	ตู้ทดลองที่ 3	ตู้ทดลองที่ 4	ตู้ทดลองที่ 5	ตู้ทดลองที่ 6	ตู้ทดลองที่ 7	ตู้ทดลองที่ 8	ตู้ทดลองที่ 9
1	0.1079	0.1097	0.1341	0.1033	0.1096	0.1098	0.0934	0.1102	0.0925
2	0.1027	0.1123	0.1356	0.1020	0.0953	0.0913	0.0898	0.1027	0.0853
3	0.1008	0.0996	0.1218	0.0991	0.1079	0.1146	0.0924	0.0936	0.0886
4	0.1154	0.0992	0.1274	0.0946	0.0936	0.1064	0.0885	0.0782	0.0638
ค่าเฉลี่ย	0.1067	0.1052	0.1297	0.0998	0.1016	0.1055	0.0910	0.0962	0.0826
น้ำหนักเฉลี่ย	19.0740	19.7620	19.6620	20.0960	17.9940	20.1216	20.1560	19.1880	17.5520

ตารางภาคผนวก ก. 5 ข้อมูลการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร ในแต่ละชุดวัด อัตราการหายใจ

การทดลองที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	น้ำหนักรวม	น้ำหนักเฉลี่ย	อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อวัน
1	0.54	0.6	0.4	0.5133	10.55	2.11	4.928
2	0.4	0.47	0.47	0.4467	10.89	2.18	4.288
3	0.47	0.46	0.47	0.4667	10.05	2.01	4.48
4	0.53	0.46	0.56	0.5167	7.44	1.49	4.96
5	0.16	0.4	0.13	0.4000	6.62	1.32	3.84
6	1.13	0.4	0.17	0.5667	9.51	1.90	5.44
7	0.85	0.2	0.34	0.4633	7.9	1.58	4.448
8	0.3	0.47	0.56	0.4433	7.62	1.52	4.256
9	0.36	0.46	0.3	0.3733	9.6	1.92	3.584

ตารางภาคผนวก ก. 6 ข้อมูลการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร ในแต่ละชุดวัด อัตราการหายใจ

การทดลองที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	น้ำหนักรวม	น้ำหนักเฉลี่ย	อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อวัน
1	1.8	1.633	1.467	1.6333	34.9	6.98	15.68
2	1.4	1.6	1.6	1.5333	36.33	7.27	14.72
3	1.7	1.717	1.733	1.7167	37.61	7.52	16.48
4	1.1	0.934	1.1	1.0447	32.87	6.57	10.029
5	1	0.733	1.133	0.9553	40.64	8.13	9.171
6	0.933	0.633	1.067	0.8777	34.52	6.90	8.425
7	1.466	2.133	1.933	1.844	39.43	7.89	17.702
8	1.333	1.6	1.4	1.4443	37.1	7.42	13.865
9	1.233	1.666	1.467	1.4553	38.65	7.73	13.971
10	2	1.866	2.167	2.011	41.45	8.29	19.306

ตารางภาคผนวก ก. 7 ข้อมูลการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าชื่อชนิด *H. asinina* ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร ในแต่ละชุดวัด
อัตราการหายใจ

การทดลองที่	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	น้ำหนักรวม	น้ำหนักเฉลี่ย	อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อวัน
1	1.8	1.967	2.234	2.0003	55.72	18.57	32.005
2	2.083	2.1	2.5	2.2277	56.05	18.68	35.643
3	2.133	2.167	2.05	2.1167	59.52	19.84	33.867
4	1.933	2.067	1.95	1.9833	54.9	18.30	31.733
5	2.3	2.3	2.517	2.3723	57.69	19.23	37.957
6	1.5	1.734	1.7	1.6447	56.78	18.93	26.315
7	1.433	1.8	2.367	1.8667	57.01	19.00	29.866
8	1.633	1.6	2.233	1.8220	50.2	16.73	29.152

ตารางภาคผนวก ก. 8 ข้อมูลการจับถ่ายแอม โมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าชื่อชนิด
H. asinina ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 เซนติเมตร

ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	1.76	0.131 (0.054)	0.0054
2	2.1	0.176 (0.099)	0.0099
3	1.48	0.134 (0.057)	0.0057
4	2.05	0.134 (0.057)	0.0057
5	2.33	0.11 (0.033)	0.0033
6	1.95	0.144 (0.067)	0.0067
7	2.39	0.124 (0.047)	0.0047
8	2.11	0.115 (0.038)	0.0038
9	2.42	0.149 (0.072)	0.0072
10	2.02	0.211 (0.134)	0.0134
ชุดควบคุม		0.077	
11	2.36	0.071 (0.02)	0.002
12	2.92	0.11 (0.059)	0.0059
13	1.82	0.104 (0.053)	0.0053
14	3.57	0.07 (0.019)	0.0019
15	3.31	0.162 (0.111)	0.0111
16	2.46	0.071 (0.02)	0.002
17	1.77	0.073 (0.022)	0.0022
18	2.58	0.095 (0.044)	0.0044
19	2.58	0.073 (0.022)	0.0022
20	2.4	0.117 (0.066)	0.0066
ชุดควบคุม		0.051	
21	2.4	0.096 (0.021)	0.0021
22	2.55	0.147 (0.072)	0.0072
23	2.43	0.102 (0.027)	0.0027
24	2.03	0.189 (0.114)	0.0114
25	1.42	0.17 (0.095)	0.0095
26	3.32	0.133 (0.058)	0.0058

ตารางภาคผนวก ก. 8 (ต่อ)

ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
27	2.2	0.133 (0.058)	0.0058
28	2.11	0.1 (0.025)	0.0025
29	1.96	0.093 (0.018)	0.0018
30	1.75	0.108 (0.033)	0.0033
ชุดควบคุม		0.075	

ตารางภาคผนวก ก. 9 ข้อมูลการจับถ่ายแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าชื่อชนิด
H. asinina ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 เซนติเมตร

ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	7.21	0.0663 (0.0452)	0.0090
2	7.91	0.0603 (0.0392)	0.0078
3	8.0	0.0539 (0.0328)	0.0066
4	8.44	0.057 (0.0359)	0.0072
5	9.03	0.0664 (0.0453)	0.0091
6	5.94	0.0678 (0.0467)	0.0093
7	9.49	0.0676 (0.0465)	0.0093
8	7.67	0.0663 (0.0452)	0.0090
9	7.12	0.0507 (0.0296)	0.0059
10	7.57	0.0739 (0.0528)	0.0106
ชุดควบคุม		0.0211	
11	8.17	0.0506 (0.024)	0.0048
12	9.03	0.0684 (0.0418)	0.0084
13	9.33	0.0608 (0.0342)	0.0068
14	7.74	0.0917 (0.0651)	0.0130
15	7.24	0.0873 (0.0607)	0.0121
16	5.72	0.0526 (0.026)	0.0052
17	9.56	0.0902 (0.0636)	0.0127
18	8.58	0.0817 (0.0551)	0.0110
19	7.29	0.0773 (0.0507)	0.0101
20	8.46	0.0767 (0.0501)	0.0100
ชุดควบคุม		0.0266	
21	7.15	0.0367 (0.0322)	0.0064
22	10.63	0.0687 (0.0642)	0.0128
23	8.44	0.0578 (0.0532)	0.0106
24	6.47	0.0548 (0.0501)	0.0100
25	7.42	0.0486 (0.0441)	0.0088
26	6.83	0.0736 (0.0691)	0.0138

ตารางภาคผนวก ก. 9 (ต่อ)

ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
27	7	0.0597 (0.0551)	0.0110
28	7.93	0.0773 (0.0728)	0.0145
29	9.48	0.0839 (0.0794)	0.0159
30	7.44	0.0517 (0.0471)	0.0094
ชุดควบคุม		0.0045	

ตารางภาคผนวก ก. 10 ข้อมูลการจับถ่ายแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของหอยเป่าชื่อชนิด
H. asinina ที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 เซนติเมตร

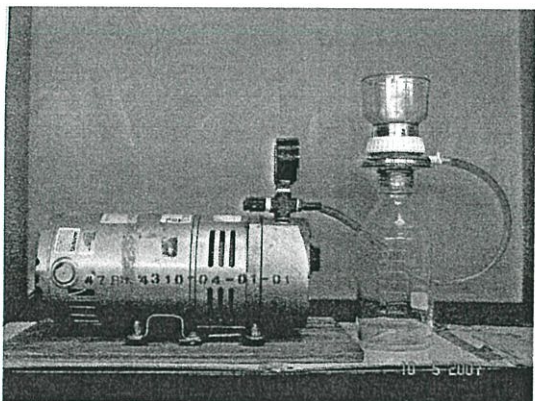
ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	17.19	0.0828 (0.0244)	0.0146
2	20.19	0.0994 (0.0410)	0.0245
3	20.13	0.0989 (0.0405)	0.0242
4	18.08	0.0699 (0.0115)	0.0068
5	21.52	0.0708 (0.0124)	0.0074
6	20.61	0.0792 (0.0208)	0.0125
7	16.49	0.0662 (0.0078)	0.0047
8	17.29	0.0852 (0.0268)	0.0161
9	13.29	0.1639 (0.1055)	0.0632
10	17.75	0.0682 (0.0098)	0.0059
ชุดควบคุม		0.0584	
11	23	0.0758 (0.0268)	0.0161
12	19.29	0.0746 (0.0256)	0.0154
13	18.24	0.0567 (0.0077)	0.0046
14	22.98	0.0668 (0.0178)	0.0107
15	20.27	0.0769 (0.0279)	0.0167
16	20.67	0.0904 (0.0414)	0.0248
17	15.66	0.0773 (0.0283)	0.0169
18	22.1	0.0857 (0.0367)	0.0220
19	13.82	0.0681 (0.0191)	0.0114
20	12.44	0.0861 (0.0371)	0.0222
ชุดควบคุม		0.0490	
21	19.05	0.0826 (0.0208)	0.0124
22	23.74	0.1001 (0.0383)	0.0229
23	20.37	0.0881 (0.0263)	0.0158
24	20.89	0.0817 (0.0199)	0.0119
25	22.82	0.0762 (0.0144)	0.0086
26	20.81	0.0931 (0.0313)	0.0188

ตารางภาคผนวก ก. 10 (ต่อ)

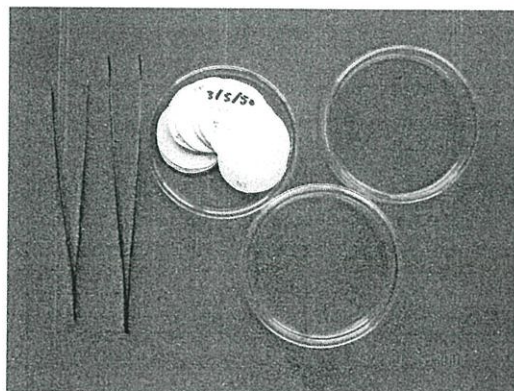
ตัวที่	น้ำหนัก	ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (ปริมาณแอมโมเนียที่จับ)	อัตราการจับแอมโมเนีย (30 นาที) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
27	18.84	0.0958 (0.034)	0.0204
28	21.59	0.0806 (0.0188)	0.0113
29	19.94	0.0952 (0.0334)	0.0200
30	20.22	0.0813 (0.0195)	0.0117
ชุดควบคุม		0.0618	

ภาคผนวก ข.

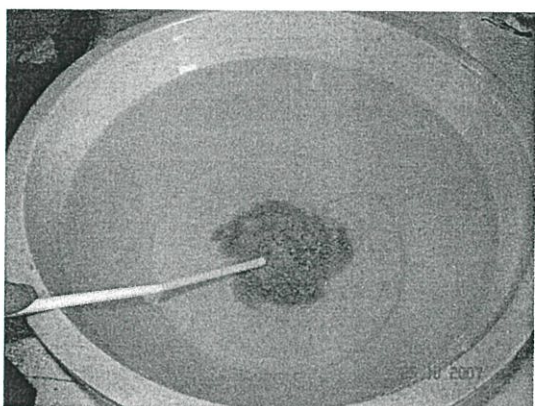
ภาพถ่ายอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง



ก



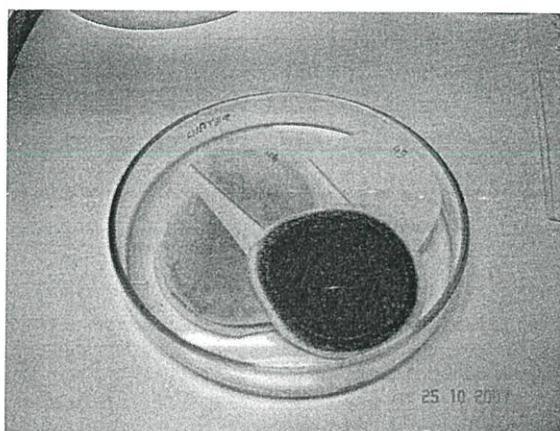
ข



ค



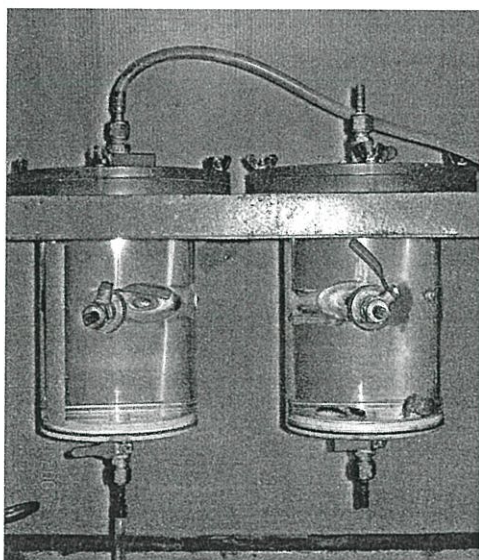
ง



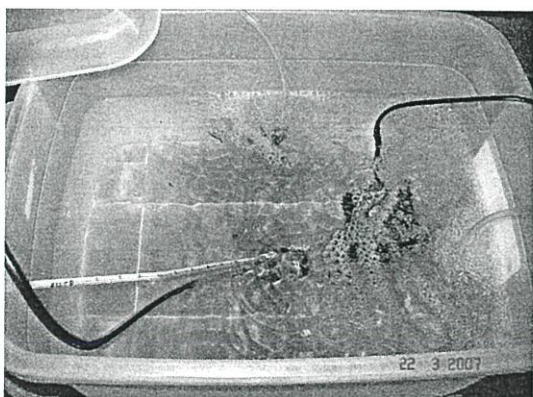
จ

ภาพภาคผนวก ข. 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการกินอาหาร

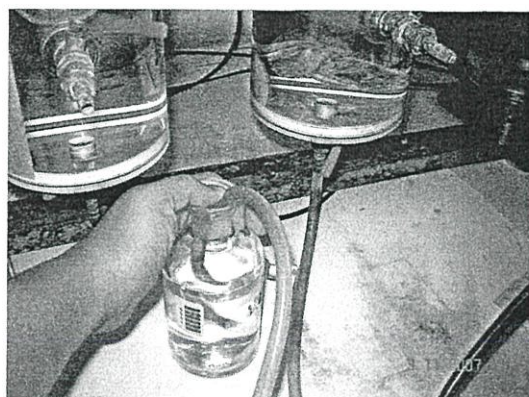
- ก-ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง
- ค-ง ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง
- จ ลักษณะของตัวอย่างที่รวบรวมได้



ก



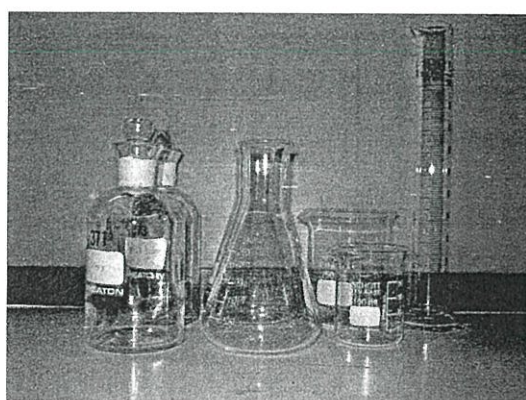
ข



ค



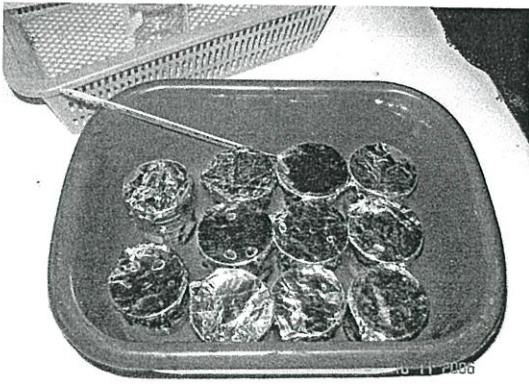
ง



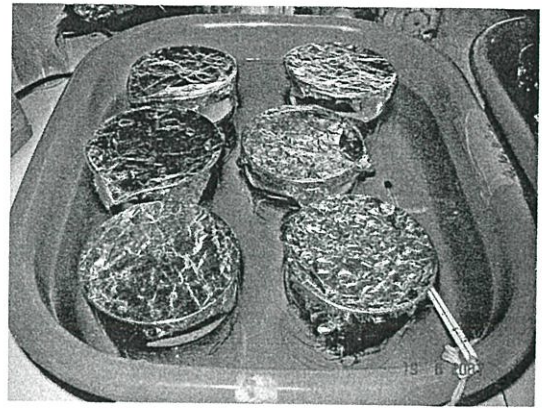
จ

ภาพภาคผนวก ข. 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน

- ก ชุดวัดอัตราการหายใจ (respirometric chamber)
 ข-ค น้ำที่เตรียมไว้สำหรับการวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน และวิธีการในการเก็บน้ำตัวอย่าง
 ง-จ สารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ



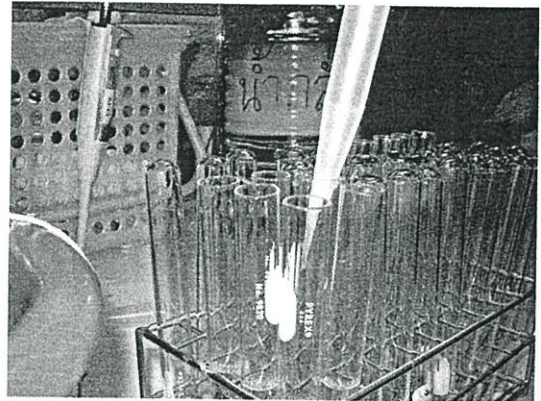
ก



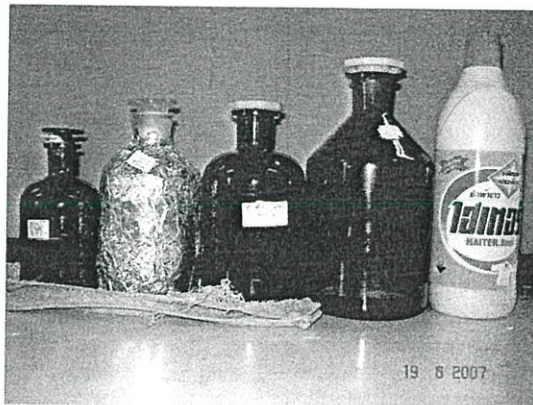
ข



ค



ง



จ

ภาพภาคผนวก ข. 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย

- ก-ข วิธีการวัดอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย
- ค-ง วิธีการเก็บน้ำตัวอย่าง
- จ สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์สาร และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่สำคัญบางตัว

ก. 1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์สารในอาหารสำเร็จ และอุจจาระตามวิธีการของ Vargas *et al.* (2002) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างอุจจาระที่รวบรวมได้จากหอยในตู้ทดลองแต่ละตู้ (น้ำหนักไม่ควรต่ำกว่า 0.2 กรัม น้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างอาหารสำเร็จที่ใช้ในการเลี้ยง (2 กรัม น้ำหนักแห้ง) มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
2. นำเถ้าที่ได้มาต้มในกรด 2 N HCl จำนวน 10 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 5 นาที โดยใช้ปิเปตเตอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร และปิดด้วยกระดาษฟิวส์เพื่อป้องกันการระเหย
3. หลังจากนั้นนำสารที่เหลือมากรองผ่านกระดาษกรองชนิด ashless paper filter และชะล้าง ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มเดือดจนกว่ากรดจะออกหมด
4. นำส่วนที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
5. นำข้อมูลน้ำหนักเถ้าก่อนทำการต้มในกรด และหลังจากต้มในกรดมาวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์สารที่ไม่ละลายในกรดตามสมการที่ 3.4

ก. 2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่สำคัญบางตัว

ก.2.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตามวิธีการของ Strickland and Parsons (1972) โดยวิธี azidemodification winkler method

ก.2.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลาย manganous sulfate ($MnSO_4$)
2. สารละลาย alkali-iodide-azide
3. sulfuric acid เข้มข้น
4. starch indicator
5. สารละลาย sodium thiosulfate 0.025 N

ก.2.1.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์

เก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวด BOD ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $MnSO_4$ จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารละลาย alkali-iodide-azide จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เติม Sulfuric acid เข้มข้น จำนวน 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีเหลืองถึงสีน้ำตาล ตวงสารละลายดังกล่าวจำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดลูกชมพู่ หยอด starch indicator จำนวน 2 หยด จะได้สารละลายสีน้ำตาลถึงสีดำ นำไปไตไตด้วยสารละลาย sodium thiosulfate จนสารละลายใสไม่มีสี พร้อมบันทึกปริมาณที่ใช้ และคำนวณปริมาณออกซิเจนที่ละลาย

ในน้ำได้ตามสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ} = \text{ปริมาตรของสารละลาย sodium thiosulfate ที่ใช้} \times 2 \quad (1)$$

ค.2.2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำตามวิธีการของ Strickland and Parsons (1972) โดยวิธี phenol-hypochlorite method

ค.2.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน
2. สารละลาย phenol
3. สารละลาย sodium nitroprusside
4. สารละลาย alkaline stock
5. สารละลาย hypochlorite

ค.2.2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์

เตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานในระดับความเข้มข้น 0, 0.2, 0.5, 1 และ 1.5 ส่วนในล้านส่วน พร้อมกับน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลาย phenol 0.4 มิลลิลิตร หมุนเหยียงให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องหมุนเหยียง (vortex) จากนั้นเติมสารละลาย sodium nitroprusside จำนวน 0.4 มิลลิลิตร หมุนเหยียงให้เข้ากันอีกครั้ง และเติมสารละลาย oxidizing 1 มิลลิลิตร ซึ่งเตรียมได้จากการผสมสารละลาย alkaline กับสารละลาย hypochlorite ในสัดส่วน 4 ต่อ 1 (ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้สารเคมี) ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง สารละลายที่ได้จะมีสีฟ้า และมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร สำหรับการคำนวณปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำตัวอย่างคำนวณจากสมการที่ได้จากกราฟสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวณัฐรินทร์ ศิริรัตนนันท์
วัน เดือน ปีเกิด	29 กันยายน 2526 ที่จังหวัดเพชรบูรณ์
ที่อยู่	5 หมู่ 4 ต.ตะเภา อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000 โทร. (056) 786085
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการประมง จากสำนักวิชาเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา ในปีการศึกษา 2547