



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาชีวพลังงานของหอยเป่าฮื้อไทยชนิดชนิด *Haliotis asinina*
Linne ที่เลี้ยงในเชิงพาณิชย์แบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำ
แบบกึ่งปิด

โดย นายมณฑล แก่นมณี

30 พฤศจิกายน 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาชีวพลังงานของหอยเป่าชื่อไทยชนิดชนิด *Halotis asinina*
Linne ที่เลี้ยงในเชิงพาณิชย์แบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำ
แบบกึ่งปิด

ผู้วิจัย

นายมณฑล แก่นมณี ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และสกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the bioenergetics of young Thai abalone (*Haliotis asinina*), fed with artificial diet according to size group (2 cm to 4 cm in shell length) rearing under semi-closed recirculating seawater system. Feeding intake, absorption efficiency, oxygen consumption and excretion rate were measured as functions of dry tissue weight (DTW). The daily feed intake (I) was related to body mass by the relationship $I = 0.0478W^{0.7793}$. Absorption efficiency ranging from 80.9% to 84.6% and was independent with body size. The relationship between oxygen consumption rate (R) and body size was $R = 16.169W^{0.7733}$. The rate of ammonia excretion (U) was related to dry tissue weight by the equation $U = 0.439W^{0.4283}$. The energetic value of food was 17.0 J.mg^{-1} . The low feeding rate activity (<1% of abalone live weight per day) was compensated by high absorption efficiency (more than 80%). Gross and net growth efficiency tended to decrease with increase size group. Average scope for growth was 30.5% which was lower than other temperate haliotid species.

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้คือเพื่อประเมินค่าชีวพลังงานของหอยเป๋าฮื้อไทยชนิด *Haliotis asinina* ที่ขนาดความยาวเปลือกตั้งแต่ 2-4 ซม. ที่เลี้ยงโดยใช้อาหารสำเร็จในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด โดยวัดจากค่าอัตราการกินอาหาร อัตราการดูดซึม อัตราการหายใจและขับถ่ายแอมโมเนีย เทียบกับน้ำหนักแห้ง (DTW) ในหอยแต่ละขนาด ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกินอาหารต่อวัน (I) กับขนาด (W) อยู่ในรูปสมการ allometric โดย $I = 0.0478W^{0.7793}$ อัตราการดูดซึมของหอยทั้งสามขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 80.9-84.6 เปอร์เซ็นต์และไม่ขึ้นกับขนาด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจ (R) หรืออัตราการบริโภคออกซิเจน กับขนาดในรูปสมการ allometric โดย $R = 16.169W^{0.7733}$ สำหรับอัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (U) คือ $U = 0.439W^{0.4283}$ จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานในอาหารพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.0 จูลต่อมิลลิกรัม หอยเป๋าฮื้อไทยชนิดนี้มีอัตราการกินอาหารค่อนข้างต่ำคือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดต่อวัน แต่จะถูกชดเชยโดยมีอัตราการดูดซึมสูง (มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์) ในทุกขนาด ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทั้งหมดและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสุทธิ (gross and net growth efficiency) มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดเพิ่มขึ้น โดยสรุปพบว่าหอยเป๋าฮื้อที่ได้รับอาหารสำเร็จจะนำพลังงานที่ได้รับจากอาหาร ไปใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 30.5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งต่ำกว่าหอยเป๋าฮื้อในเขตอบอุ่น

Executive Summary

Project Bioenergetics of Thai Abalone (*Haliotis asinina* Linne.) rearing under a semi-closed recirculating land-base system

Researcher

Name: Dr. Monthon Ganmanee

Organization: Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd.,

Ladkrabang Bangkok 10520

Tel.: 0-2737-2000 ext. 3082 Fax.: 0-2326-4099

Email; kkmntho@kmitl.ac.th

Problem statement and importance

Abalone is one of the economically marine gastropod. The major world markets for abalone are Japan, China and Southeast Asian countries which consume either steak size or cocktail size abalones around 80% of total production. It is well known that over-fishing and pollution in marine environment have impacted on abalone fisheries. This decline couples with the value of abalone meat have promoted the concept of abalone aquaculture internationally. Nowadays, there is an increasing investment in abalone aquaculture throughout the world including Asian, Europe, American and Australian countries. However, the demand for abalone still exceeds the supply.

There are three species of abalones in Thai waters, namely, *Haliotis asinina*, *H. ovina* and *H. varia*. Of these, Thai abalone, *H. asinina*, is the best potential to culture to fill an increasing demand for the world abalone markets because it has high growth rate and has the highest edible part when compare with others world abalone species. Currently, *H. asinina* are collected throughout Southeast Asian. Research efforts to develop a commercial culture production of the abalone in Thailand have been established since the last decade. However, some of basic biological aspect of the abalone in cultured system is needed; particularly in term of the partition of ingested energy obtain from food into growth metabolism and excretion.

Objectives

To evaluate the energy partitioning of young Thai abalone, *H. asinina*, rearing under a semi-closed recirculating in land-base system. Ingestion rate, absorption efficiency, oxygen consumption and excretion rate were determined in difference size group.

Methodology

The study was conducted at Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang. Abalone groups consisted of different size classes obtained from Srichang Marine Research and Training Station, Aquatic Research Resources Institute, Chulalongkorn University. Three size classes of abalone were selected, ranging in shell length from 2 to 4 cm.

Groups of one hundred twenty abalones were acclimated in 32-l tanks with ten abalones per tank for the acclimation time of 2 weeks. Temperature of seawater was controlled at 27 °C. Feeding intake was determined in the same experimental tanks over a 4-day period. Optimum amount of artificial food was offered in each experimental tank at 6.00 pm. The rest of food was collected at 8.00 am in the next day.

Rates of oxygen consumption in abalone were measured during the day for 30-min periods by put five abalones in 2-l respirometric chamber. Oxygen concentrations in seawater were determined compared with control. A total of 10 replications were measured for each size group.

Ammonia excretion was determined by introducing the abalone individually into 800-ml beakers containing filtered and air-saturated seawater. Excretion rates were determined as the difference between the ammonia content in the beakers with abalone and the control beakers after incubation for 30 min. A total of 30 replications were measured for each size group.

Energy obtained from feeding intake and absorption efficiency were estimated. Oxygen consumption and excretion rate were converted to energy equivalent. Scope for growth, growth efficiency and the O/N ratio were calculated for the standard animal of each size class in term of dry weight.

Results

Feeding intake of young Thai abalone, *H. asinina*, with average shell length from 2-4 cm fed with artificial diet in the present study less than 1% of dry tissue weight. The low feeding intake was compensated with relatively high absorption efficiency with higher than 80% in all size group. They used 67.2% for respiratory metabolism, 2.3% lost in excretion and 30.5% incorporated in growth. Gross and net growth efficiency tended to decreased with the increased size group.

เนื้อหางานวิจัย

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

หอยเป๋าฮื้อเป็นหอยฝาเดียวชนิดหนึ่งที่แพร่กระจายอยู่ทั้งในเขตร้อน กึ่งร้อนและเขตอบอุ่นของโลก หอยชนิดนี้ถือว่าเป็นสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงเป็นที่นิยมบริโภคกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ ตลาดใหญ่ของหอยเป๋าฮื้อคือประเทศในทวีปเอเชียโดยเฉพาะญี่ปุ่น จีนและกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีสัดส่วนการบริโภครวมถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณหอยเป๋าฮื้อทั้งหมด โดยจะบริโภคทั้งหอยเป๋าฮื้อขนาดใหญ่ (steak size) และหอยเป๋าฮื้อขนาดเล็ก (cocktail size) ในอดีตผลผลิตของหอยเป๋าฮื้อทั้งหมดจะมาจากการจับจากธรรมชาติ เมื่อมีความต้องการในการบริโภคเพิ่มมากขึ้นทำให้ผลผลิตจากธรรมชาติไม่เพียงพอแก่ความต้องการ จึงได้มีการศึกษาวิธีการและเทคนิคในการเพาะเลี้ยงหอยชนิดนี้ขึ้น ซึ่งเริ่มจากประเทศญี่ปุ่นในต้นศตวรรษที่ 19 จนถึงปัจจุบันได้มีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อกันอย่างแพร่หลายทั้งในทวีปเอเชีย ยุโรป อเมริกาและออสเตรเลีย รูปแบบการเลี้ยงมีทั้งแบบการทำฟาร์มบนบก (Land-based farming) และ การทำฟาร์มในทะเล (Sea farming) โดยประเทศที่เป็นผู้นำด้านการผลิตและส่งออกรายใหญ่คือประเทศจีนและไต้หวันซึ่งสามารถผลิตหอยเป๋าฮื้อได้ถึง 3,500 และ 3,000 ตันต่อปีตามลำดับ (Freeman, 2001) อย่างไรก็ตามผลผลิตหอยเป๋าฮื้อในปัจจุบันยังถือว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดโลก เนื่องจากจากการประมาณการผลิตในปี 2004 พบว่ามีผลต่างระหว่างผลผลิตที่ได้กับความต้องการหอยเป๋าฮื้ออยู่ถึง 5,000 ตันต่อปี (Gordon and Cook, 2003)

ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบหอยเป๋าฮื้อทั้งหมด 3 ชนิดคือ *Haliotis asinina*, *H. ovina* และ *H. varia* (Nateewathana and Hylleberg, 1986; Nateewathana and Bussarawit, 1988; Singhagraiwan and Doi, 1993; Jarayabhand *et al.*, 1995) ซึ่งในจำนวนนี้หอยเป๋าฮื้อชนิด *H. asinina* เป็นหอยเป๋าฮื้อที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายชนิดหนึ่งในตลาด (Freeman, 2001) ผลผลิตของหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้เดิมจะจับจากธรรมชาติโดยมีแหล่งใหญ่อยู่ที่กลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และออสเตรเลีย โดยประเทศฟิลิปปินส์เป็นประเทศที่จับหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้จากธรรมชาติมากที่สุดถึงกว่า 500 ตันต่อปี (Nash, 1991; William and Dagnans, 1998) ปัจจุบันหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้กำลังได้รับความสนใจที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้การเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ในประเทศต่างๆเช่น ออสเตรเลีย และฟิลิปปินส์รวมทั้งประเทศไทย (Lovatelli, 1990; Capinpin *et al.*, 1999; Freeman, 2001) เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพในการเพาะเลี้ยงพบว่าหอยเป๋าฮื้อชนิดนี้มีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงสูง โดยมีอัตราการเติบโตรวดเร็ว และมีสัดส่วนเนื้อที่บริโภคได้สูงสุดเมื่อเทียบกับหอยเป๋าฮื้อทุกชนิดทั่วโลก และยังสามารถจำหน่ายได้ในตลาดทั้งในลักษณะของ cocktail size และ steak size abalone

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย สัตว์น้ำนอกจากจะเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของประชากรในประเทศแล้วยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้สูงอีกด้วย ในปัจจุบันนอกเหนือจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลักที่เป็นรู้จักกันดีเช่นกุ้งทะเล ประเทศไทยยังมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดใหม่เพื่อรองรับความต้องการอาหารที่เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากร และเพื่อรองรับในกรณีที่เกิดปัญหากับสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลักดังที่ทราบกันดีเช่น โรค การใช้ยาปฏิชีวนะ และปัญหาการกีดกันทางการค้าจากประเทศกลุ่มประเทศคู่ค้าที่ใช้ข้ออ้างด้านสิ่งแวดล้อม หอยเป่าฮือชนิด *Halotis asinina* จึงเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจทางเลือกใหม่ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามการที่จะพัฒนาระบบผลิตและระบบเลี้ยงหอยเป่าฮือชนิดนี้ในประเทศไทยให้ประสบความสำเร็จนั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องอีกมากพอสมควร การศึกษาเกี่ยวกับชีวพลังงานในหอยเป่าฮือซึ่งหมายถึงการศึกษาถึงประสิทธิภาพหรือการจัดสรรพลังงานที่ได้รับจากอาหารมาใช้ในการดำรงชีวิตของหอยเป่าฮือในช่วงอายุต่างๆในระบบเลี้ยงเป็นประเด็นสำคัญอันหนึ่งที่จะสามารถนำผลที่ได้มาใช้ในการจัดการให้หอยเป่าฮือในระบบเลี้ยงได้รับระดับพลังงานที่เหมาะสมและนำมาใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

หอยเป่าฮือชนิด *Halotis asinina* มีเปลือกสีเขียวหรือเขียวอมน้ำตาล เปลือกค่อนข้างยาวและบาง มีรูหายใจเรียงเป็นแถวบริเวณขอบเปลือก 6-7 แถว ความยาวเปลือกสูงสุด 10 ซม. ส่วนเท้ามีสีเทา หอยเป่าฮือชนิดนี้จะพบแพร่กระจายบริเวณชายฝั่งในเขตร้อนตั้งแต่หมู่เกาะวิวกิวของประเทศญี่ปุ่นถึงตอนเหนือของทวีปออสเตรเลีย (Hahn, 1989) สำหรับในประเทศไทยจะพบทั้งในอ่าวไทยตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดชลบุรี ระยองและตราด และทะเลอันดามัน โดยเฉพาะเกาะลันเตา จังหวัดตรังและจังหวัดภูเก็ต โดยจะพบบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงเป็นส่วนใหญ่ ที่ความลึกตั้งแต่ 1 ถึง 7 เมตร และมักอาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ท้องทะเล เกาะอยู่กับหินและซากปะการังที่ตายแล้ว (Jarayabhand and Paphavasit, 1996; Jarayabhand, personal comm.) หอยเป่าฮือชนิดนี้จะหากินตอนกลางคืน (Fallu, 1991) โดยการดูดตะกอนทรายหรือฟิล์มแบคทีเรียที่เคลือบอยู่บนก้อนหิน และเช่นเดียวกับหอยเป่าฮือชนิดอื่นๆ, *H. asinina* จะสืบพันธุ์ภายนอก มีเพศแยก ระหว่างเพศผู้กับเพศเมีย โดยเพศผู้ gonad จะมีสีขาวครีมส่วนเพศเมียจะมีสีเขียวเข้ม ความดกไข่ประมาณ $2-6 \times 10^5$ ฟอง โดยสามารถสืบพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี ไข่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 190 ไมครอน ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วจะพัฒนาเป็นตัวอ่อนในระยะที่พร้อมจะลงเกาะ (creeping larvae) ภายในเวลา 2 วัน และจะ metamorphosis จนมีรูปร่างเหมือนตัวเต็มวัยที่มีรูหายใจรูแรก ภายในเวลา 28 วัน (Jarayabhand and Paphavasit, 1996)

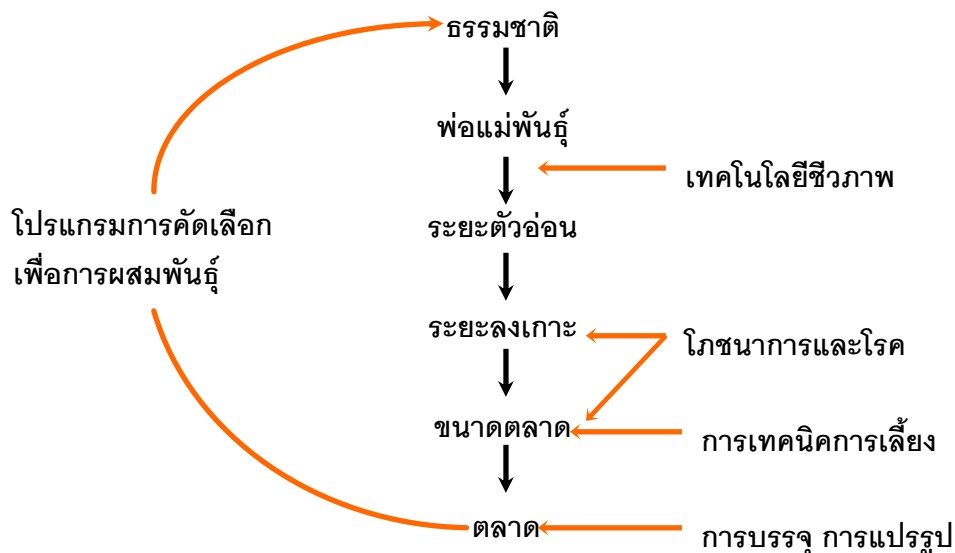
สำหรับในประเทศไทย Jarayabhand and Paphavasit (1996) ให้ความเห็นว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* เป็นหอยเป่าฮือพันธุ์พื้นเมืองของไทยที่มีศักยภาพและขอได้เปรียบหลายประการที่จะทำการ

เพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งได้แก่สามารถทำให้มีความสมบูรณ์เพศได้ง่าย สืบพันธุ์และผลิตลูกพันธุ์ได้เกือบตลอดทั้งปี มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงจนได้ขนาดตลาดสั้นเมื่อเทียบกับหอยเป่าฮื้อในเขตอบอุ่นหรือเขตนานว คือ 1-2 ปี มีการตลาดรองรับผลผลิตที่ได้คือจำหน่ายทั้งในลักษณะ cocktail size และ steak size abalone จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในประเด็นต่างๆ เช่น ชีววิทยานิเวศวิทยา อาหาร(ทั้งอาหารธรรมชาติ และอาหารสำเร็จรูป) เทคนิคการเลี้ยง เทคโนโลยีชีวภาพ และพันธุศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยได้เริ่มมีการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อชนิดนี้ขึ้นตั้งแต่ปี 2535 โดย Singhagraiwan and Doi (1992) ทำการขุนพ่อแม่พันธุ์จำนวน 60-120 ตัว ในอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 1 ต่อ 5 ในบ่อคอนกรีตขนาดความจุ 2.5 ตัน ที่มีการให้น้ำตลอดเวลาในอัตราประมาณ 500 ลิตร/ชม ให้อาหารเป็นสาหร่ายสดชนิด *Gracilaria salicornia* พ่อแม่พันธุ์จะปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ในบ่อเกือบตลอดทั้งปี โดยช่วงที่มีปริมาณมากที่สุดคือระหว่างเดือนกันยายนถึงมีนาคม ตัวอ่อนที่ได้ภายในบ่อจะถูกเก็บออกไปอนุบาลในถังเลี้ยงเมื่อถึงระยะที่พร้อมลงเกาะจะย้ายเข้าสู่บ่อลงเกาะ ซึ่งวัสดุหล่อให้ลูกหอยลงเกาะจะทำด้วยแผ่นอะคริลิกใสที่เคลือบฟิล์มสาหร่ายไดอะตอมชนิด *Nitzschia* sp. หรือ *Navicula* sp. เรียงเป็นแถว ตัวอ่อนที่ลงเกาะบนแผ่นนี้จะ metamorphosis จนถึงระยะที่มีรูหายใจแรกภายใน 28 วัน จากนั้นจะร่วงลงสู่พื้นบ่อซึ่งในระยะนี้จะเริ่มให้สาหร่ายสดเป็นอาหารจนกระทั่งได้ขนาดที่ต้องการ

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการเจริญเติบโตของหอยเป่าฮื้อชนิดนี้จะถือว่าสูงกว่าหอยเป่าฮื้อในเขตอบอุ่น (Freeman, 2001) ปัจจัยประการนี้จัดเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งของหอยเป่าฮื้อในเขตร้อน ซึ่ง Capinpin *et al.* (1999) รายงานว่า *H. asinina* ที่มีขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 20 มิลลิเมตร โดยเลี้ยงในกรงแบบการทำฟาร์มในทะเลและให้สาหร่ายสด *Gracilaria bailinae* สามารถเจริญเติบโตได้ขนาดตลาดโดยมีความยาวเปลือกถึง 60 มม ได้ในระยะเวลา 1 ปี โดยมีอัตราการรอดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

ถึงแม้ว่าหอยเป่าฮื้อชนิดนี้จะมีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงสูง แต่การพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงหอยชนิดนี้ในเชิงพาณิชย์ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น สำหรับในประเทศไทย หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะและการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อไทย สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำได้จัดทำฟาร์มต้นแบบของการเพาะและเลี้ยงหอยเป่าฮื้อชนิดนี้ในเชิงพาณิชย์แบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด เนื่องจากระบบดังกล่าวจะไม่มีการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะ จึงทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าฟาร์มต้นแบบสามารถผลิตหอยเป่าฮื้อขนาด cocktail size (30-50 กรัมหรือ 20-30 ตัวต่อกิโลกรัม) โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 8-12 เดือน และผลิตหอยเป่าฮื้อขนาด steak size (100 กรัมต่อตัว หรือ 10 ตัวต่อกิโลกรัม) ภายในเวลาประมาณ 18-24 เดือน (Jarayabhand, unpublished data)

รูปแบบการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮื้อของหน่วยปฏิบัติการจะเป็นไปในเส้นทางตามที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบวาริชกรรมการเพาะเลี้ยง เส้นทางจากการวิจัยพื้นฐานไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (จาก Jarayabhand, 2004: unpublished data)

จากขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ ขั้นตอนหลักที่จะเป็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮื้อเชิงพาณิชย์คือการเลี้ยงจากระยะที่เริ่มลงเกาะจนถึงได้ขนาดตลาด (grow-out phase) ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกับการเจริญเติบโตของหอยเป่าฮื้อหลายประการเช่น อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ถังเลี้ยง (Fleming *et al.*, 1993; Higham *et al.*, 1998) ถังเลี้ยง (Hindrum *et al.*, 1995; Loipersberger, 1997) ความหนาแน่น (Koike *et al.*, 1979) คุณภาพน้ำในระบบเลี้ยง (Huchette *et al.*, 2003) และคุณภาพและปริมาณของอาหาร (Hooker and Morse, 1985; La Touche *et al.*, 1993; Mercer *et al.*, 1993; Fleming *et al.*, 1998; Tahil and Juinio-Menez, 1999) และจากปัจจัยทั้งหมดนี้คุณภาพและปริมาณของอาหารถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากพลังงานที่หอยเป่าฮื้อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตในระบบเลี้ยงจะมาจากอาหารที่ได้รับโดยตรง แต่พลังงานที่ได้รับจากอาหารนี้จะต้องมีการจัดสัดส่วนเพื่อใช้ในขบวนการทางสรีรวิทยาอื่นๆ เพื่อการดำรงชีวิตด้วยนอกเหนือไปจากการใช้เพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสัดส่วนพลังงานของหอยเป่าฮื้อในระบบเลี้ยงจึงถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นประการหนึ่ง

ชีวพลังงานในหอยเป่าฮื้อ

สภาวะทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตในเวลาใดๆ เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ซึ่งตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ทางสิ่งแวดล้อมหรือจากปัจจัยภายในตัวสิ่งมีชีวิตเอง และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมภายนอกสิ่งมีชีวิตก็จำเป็นต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะดังกล่าวให้ได้ ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเกิดขึ้นในตัวสิ่งมีชีวิตเป็นลำดับแรก ก่อนที่การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นต่อไปยังระดับประชากร และชุมชนของสิ่งมีชีวิต (Bayne *et al.*, 1985) การศึกษาเกี่ยวกับชีวพลังงาน (bioenergetics) เป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาถึงสภาวะทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมใดๆ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปของการศึกษาชีวพลังงานก็คือ การศึกษาอัตราการนำเข้าของพลังงาน (energy intake) และการใช้พลังงานที่ได้ในขบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในร่างกาย ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$E(In) = E(Out) + E(P) \quad (1) \quad \text{เมื่อ}$$

$E(In)$ คือ พลังงานที่ได้รับจากอาหาร, $E(Out)$ คือ พลังงานที่สูญเสียไป และ $E(P)$ คือ พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตหรือสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จากสมการที่ (1) ค่าพลังงานที่ได้รับจากอาหารมาจากผลรวมของค่าปัจจัยทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$R = F + M + U + P \quad (2)$$

เมื่อ R คือ พลังงานที่ได้รับจากอาหาร, F คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการขับถ่ายอาหารส่วนที่ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ (faeces), M คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการดำรงชีวิตซึ่งหมายถึงการนำกากาออกซิเจนไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ในระบบทางสรีรวิทยาต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งโดยปกติการวัดอัตราการเมตาบอลิซึมโดยตรงจะทำได้ยากจึงใช้วิธีการประมาณจากอัตราบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption) ส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาบอลิซึมเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และ nitrogenous waste ก็จะต้องถูกขับออกจากร่างกายซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานเช่นกัน (U) และ P คือ พลังงานที่นำไปใช้ในการรักษาสภาวะทางสรีรวิทยาของร่างกายให้คงที่และใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิต ในกรณีที่มีพลังงานส่วนเกินจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือเก็บสะสมไว้ในร่างกาย ซึ่งอาจแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ สะสมไว้ในร่างกาย (somatic growth; P_s) และส่วนที่ใช้ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (reproductive growth; P_r) ในทางตรงกันข้ามถ้าพลังงานที่ได้รับไม่เพียงพอที่จะดึงเอาส่วนที่สะสมไว้มาใช้ ซึ่งจะทำให้ขนาดหรือน้ำหนักของสิ่งมีชีวิตนั้นลดลง จากการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโต (Production หรือ ค่า P ในสมการชีวพลังงาน) จะขึ้นอยู่กับผลของสิ่งแวดล้อมทั้งภายนอก (extrinsic factors) และภายใน (intrinsic factors) โดยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมภายนอกหมายถึงทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตในระบบ ในขณะที่ปัจจัยภายในตัวสิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับตัวสิ่งมีชีวิตเองเช่น ขนาด เพศ หรืออายุ เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับชีวพลังงานในสิ่งมีชีวิตนั้นจะสามารถควบคุมปัจจัยภายนอกในการ

ทดลองได้ ส่วนปัจจัยภายในจะต้องมาจากการคัดเลือกขนาดของสิ่งมีชีวิตที่จะนำมาทำการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับชีวพลังงานในสัตว์น้ำได้เริ่มขึ้นเมื่อปลายทศวรรษ 1940 โดยเริ่มจากปลา เพื่อประโยชน์ทั้งในการจัดการทรัพยากรประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สำหรับวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาชีวพลังงานของปลาในระบบเลี้ยงคือเพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนของพลังงานที่ได้รับจากอาหารที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต (Jobling, 1994) สำหรับในกลุ่ม phylum Mollusca เริ่มจากการศึกษาชีวพลังงานเพื่อทำความเข้าใจถึงบทบาทและความสามารถในการส่งผ่านพลังงานของหอยฝาเดียวในระบบนิเวศ ซึ่งหอยฝาเดียวชนิด *Lottia* sp. นิยมนำมาเป็นตัวแทนในการศึกษา เนื่องจากหอยชนิดนี้เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในระบบนิเวศหาดหิน โดยได้มีการศึกษาปัจจัยทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมการชีวพลังงานของหอยชนิดนี้อย่างครบถ้วน (Branch, 1981; Wright and Hartnoll, 1981; Niu *et al.*, 1998) ส่วนในหอยสองฝาส่วนใหญ่จะทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างชีวพลังงานของหอยสองฝาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบเลี้ยงทั้งแบบการทำฟาร์มบนบกและการทำฟาร์มในทะเลรวมทั้งการใช้หอยสองฝาบางชนิดเป็น indicator species ในสภาวะแวดล้อมใดๆ โดยวัดจากค่า scope for growth (Beiras *et al.*, 1995; Martinez *et al.*, 1995; Grant, 1996; Clark, 1997) สำหรับในหอยเป่าฮื้อนั้นจนถึงปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยทางสรีรวิทยาบางประการที่เกี่ยวข้องในสมการชีวพลังงานไว้พอสมควร (reviewed by Hahn, 1989) เช่น การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนซึ่ง Uki and Kikuchi (1975) ทำการศึกษาในหอยเป่าฮื้อชนิด *Halotis discus hannai* พบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของหอยเป่าฮื้อจะมีความสัมพันธ์กับขนาด อุณหภูมิและช่วงเวลาในรอบวัน ส่วน Harris *et al.* (1999) รายงานว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของ *H. laevigata* จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณออกซิเจนในระบบเลี้ยงและอัตราการเติบโตในรูปของ specific growth rate (SGR) ก็เพิ่มขึ้นกับปริมาณออกซิเจนเช่นกัน ส่วนการศึกษาพลังงานที่ได้รับจากการกินอาหารส่วนใหญ่จะเน้นไปทางโภชนศาสตร์ซึ่งเป็นการศึกษาถึงปริมาณและคุณภาพของอาหารที่ได้รับต่อการเติบโตทั้งอาหารจากธรรมชาติและอาหารสำเร็จ (Hahn, 1989) สำหรับการศึกษาปัจจัยทางสรีรวิทยาต่างๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในสมการชีวพลังงานของหอยเป่าฮื้อในระบบเลี้ยงยังมีค่อนข้างน้อย ซึ่งในจำนวนนี้ส่วนใหญ่จะทำการศึกษาในหอยเป่าฮื้อในเขตอบอุ่นที่มีขนาดใหญ่เช่น *Halotis iris* (Bloomberg, 1981 อ้างโดย Farias *et al.*, 2003), *H. midae* (Barkai and Griffiths, 1988), *H. fulgens* (Farias *et al.*, 2003) ซึ่งพบว่า อัตราการกินอาหาร อัตราการหายใจ และอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียจะมีความสัมพันธ์กับขนาดในรูปแบบของสมการ allometric แต่ความสามารถในการดูดซึมอาหารเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโตจะไม่แสดงความสัมพันธ์กับขนาดแต่อย่างใด

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาชีวพลังงานในแง่ของสัดส่วนพลังงานที่ได้รับจากอาหาร ที่มีต่อการใช้เพื่อการเติบโต การหายใจ การขับถ่ายของเสีย ของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *Halotis asinina* ที่เลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 สถานที่วิจัยและระยะเวลาในการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัยคือ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

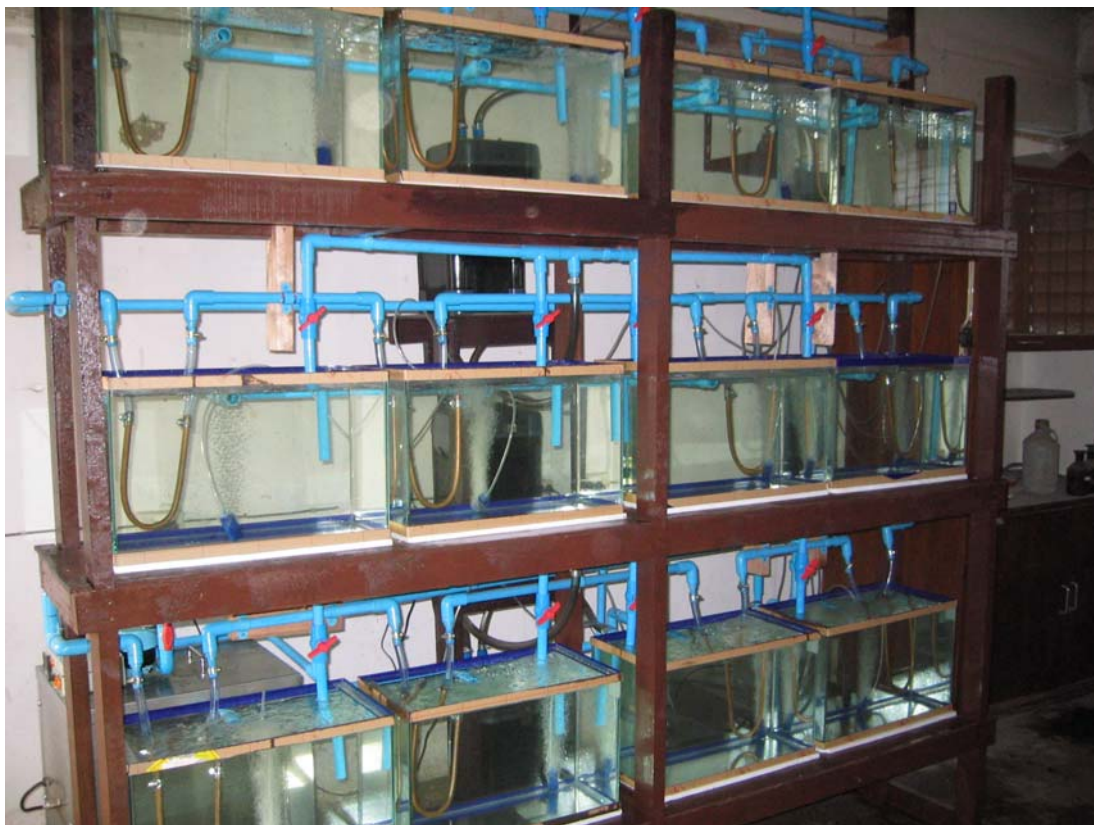
3.2 วิธีการวิจัย

หอยเป่าฮื้อชนิด *Halotis asinina* ที่นำมาใช้ในการวิจัย ได้มาจากการเพาะเลี้ยงของหน่วยปฏิบัติการหน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะและการเลี้ยงหอยเป่าฮื้อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ซึ่งเลี้ยงในบ่อผ้าใบกลางแจ้งขนาด 8.0 x 1.0 x 0.7 เมตร ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิด ที่มีการเติมน้ำและให้อากาศตลอดเวลา (flow-through, aerated seawater) โดยจะให้ น้ำที่เข้าสู่บ่อมีอัตราคงที่คิดเป็นปริมาตรประมาณ 400% ต่อวัน อาหารที่ใช้เลี้ยงหอยจะเป็นอาหารสำเร็จจากการผลิตของหน่วยปฏิบัติการฯ (ภาพที่ 2) โดยจะให้อาหารวันละหนึ่งครั้งในเวลาประมาณ 18.00 น ในปริมาณ 1% ของน้ำหนักตัว ทำการดูดตะกอนและกำจัดสาหร่ายที่อาจขึ้นบริเวณขอบบ่อทุกวันในตอนเช้า การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงจะทำโดย บันทึกอุณหภูมิ ความเค็ม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทุกวัน และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต ทุกสัปดาห์ โดยส่งไปทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทางเคมีของ สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 2 อาหารสำเร็จที่ใช้ในการทดลอง

ทำการคัดหอยที่มีความยาวเปลือกเฉลี่ยสามกลุ่มคือ 2, 3 และ 4 ซม. กลุ่มละ 120 ตัว เข้ามาทำการวัดค่าต่างๆในสมการชีวพลังงาน ณ.ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำมาพักไว้เพื่อปรับสภาพ (acclimation) ก่อนนำมาทดลองในตู้กระจกปริมาตร 32 ลิตร ตู้ละ 10 ตัว (ภาพที่ 3) ตู้ทดลองจะมีการไหลเวียนของน้ำและเติมอากาศตลอดเวลา ควบคุมอุณหภูมิโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส ให้อาหารวันละหนึ่งครั้งในเวลาประมาณ 18.00 น ในปริมาณ 1% ของน้ำหนักตัว ทำการดูดตะกอนออกจากตู้ทุกเช้า ทำการปรับสภาพหอยก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 2 สัปดาห์



ภาพที่ 3 ระบบทดลองที่ใช้ในการปรับสภาพและวัดอัตราการกินอาหาร

3.2.1 การวัดปริมาณอาหารที่ได้รับและอัตราการดูดซึม (Feeding intake and absorption rate)

เมื่อเริ่มทำการทดลองจะนำหอยเป่าฮื้อในแต่ละตู้มาวัดความยาวเปลือกและชั่งน้ำหนัก ในวันรุ่งขึ้น จะเริ่มทำการเก็บข้อมูลการวัดปริมาณพลังงานอาหารที่ได้รับและอัตราการดูดซึม โดยให้อาหารสำเร็จรูปที่ทราบน้ำหนักแน่นอนกับหอยเป่าฮื้อแต่ละตู้ในเวลา 18.00 น. และเก็บอาหารที่เหลือออกไปในเวลา 08.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ส่วนของเสียจากอาหารที่ไม่ได้ดูดซึม (feces) จะนำออกไปในตอนเย็นก่อนที่จะให้อาหารในวันต่อไป อาหารที่เหลือและของเสียนี้จะแยกออกจากน้ำโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง (ashless filter paper) แล้วนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 4 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองจะนำอาหารที่ใช้เลี้ยง และของเสียที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์สารด้วยวิธีการ acid insoluble ash และนำตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์ค่าความชื้น และคุณค่าทางอาหาร (proximate analysis) เพื่อหาค่า total nitrogen, crude protein, total dietary lipid, ash และพลังงานที่มีอยู่ในอาหาร

3.2.2 การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption)

นำหอยเป่าฮื้อในแต่ละขนาดจำนวน 60 ตัวมาชั่งวัดความยาวเปลือกและน้ำหนัก แล้วนำมาใส่หน่วยวัดอัตราการหายใจ (respirometric chamber) จำนวน 5 ตัวต่อหน่วย หน่วยวัดนี้ทำด้วยพลาสติก

อะคริลิคใสรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 ซม. ปริมาตร 2 ลิตรมีฝาปิดสนิทมีทางน้ำเข้าและออกของน้ำทางด้านข้าง (ภาพที่ 4) หน่วยวัดจะจัดวางในถังน้ำใหญ่โดยน้ำในถังจะมีการ calibration ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ 100% โดยการให้อากาศอย่างแรง น้ำจากถังน้ำถูกปั๊มเข้าสู่หน่วยวัดทุกๆ 30 นาทีผ่านเครื่องตั้งเวลา รักษาปริมาณออกซิเจนในหน่วยวัดไม่ให้ต่ำกว่า 80% หลังจากเวลาผ่านไป 30 นาทีจะนำน้ำในหน่วยวัดไปหาค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีการ Winkler method เทียบกับหน่วยควบคุม อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยต่อตัวจะวัดในหน่วย ml ของ $O_2 h^{-1}$ และคำนวณเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในขบวนการหายใจโดยใช้ conversion factor $20.33 J ml^{-1} O_2$



ภาพที่ 4 Respirometric chamber

3.2.3 การวัดอัตราการขับถ่ายของเสียในรูปแอมโมเนีย (ammonia excretion)

นำหอยเป่าฮื้อในแต่ละขนาดจำนวน 30 ตัวมาชั่งวัดความยาวเปลือกและน้ำหนัก แล้วนำมา ใส่ลงในบีกเกอร์สะอาดขนาด 800 มิลลิลิตรบีกเกอร์ละ 1 ตัว ใส่ น้ำทะเลที่ผ่านการกรองและอิมมูบิลิซด์ด้วยออกซิเจน ดำนบนของบีกเกอร์จะปิดด้วยวัสดุที่สามารถปิดได้สนิทป้องกันการสัมผัสกับไนโตรเจนจากภายนอก จะ

เริ่มทำการวัดเมื่ออุณหภูมิและความเค็มในหน่วยทดลองมีค่าคงที่เป็นเวลา 30 นาที อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าฮือแต่ละตัวจะวัดจากผลต่างของปริมาณแอมโมเนียในหน่วยทดลองและหน่วยควบคุมซึ่งเป็นบีกเกอร์ที่ใส่น้ำทะเลเพียงอย่างเดียว ค่าแอมโมเนียที่ได้จะทำให้อยู่ในหน่วย $\mu\text{mol N-NH}_4$ แล้วคำนวณเป็นค่าพลังงานที่ใช้โดยใช้ conversion factor $0.349 \text{ J } \mu\text{mol N-NH}_4$

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 ปริมาณอาหารที่ได้รับและอัตราการดูดซึม

ปริมาณอาหารที่ได้รับ(ต่อวัน) ในเวลา 14 ชั่วโมงของการทดลองจะคำนวณจากสมการ

$$I = (W_o - W_f)/N \quad (4)$$

เมื่อ I คือ ปริมาณอาหารที่ได้รับ, W_o น้ำหนักแห้งของอาหารที่ให้, W_f คือ ผลต่างของน้ำหนักแห้งของอาหารที่เก็บออกมากับน้ำหนักที่หายไปของอาหารในชุดควบคุมหน่วยซึ่งเป็นตัวที่มีขนาดเดียวกันแต่ไม่มีหอยเป่าฮือในตู้ภายหลังเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง และ N คือ จำนวนหอยในตู้ทดลอง

อัตราการดูดซึมจะคำนวณจากสมการ

$$A = I \times Ab \quad (5)$$

เมื่อ A คืออัตราการดูดซึม, I คือ ปริมาณอาหารที่ได้รับ, Ab คือความสามารถในการดูดซึม (net absorption efficiency) ซึ่งหาจากอัตราส่วนของปริมาณเถ้าของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในอาหารที่กินเข้าไปและจากของเสีย (feces)

3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องในสมการชีวพลังงานและขนาดของหอยเป่าฮือ

ภายหลังการทดลองหอยเป่าฮือที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งจะถูกนำมาหาค่าน้ำหนักแห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมการชีวพลังงานที่ได้ ซึ่งได้แก่ ปริมาณอาหารที่ได้รับ, ความสามารถในการดูดซึม, อัตราการหายใจ และอัตราการขับถ่ายในรูปแอมโมเนีย ในสภาวะอุณหภูมิและความเค็มต่างๆกัน จากสมมติฐานที่ว่าค่าของปัจจัยทางสรีรวิทยาใดๆกับน้ำหนักตัวมีความความสัมพันธ์กันแบบสมการ allometric ดังสมการ

$$Y_x = a W^b \quad (6)$$

เมื่อ Y_x คือค่าของปัจจัยทางสรีรวิทยาใดๆ, W คือน้ำหนักแห้งของสิ่งมีชีวิตมีหน่วยเป็นกรัม, a และ b คือค่าคงที่

3.3.3 การสร้างสมการชีวพลังงานและการหาพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต

พลังงานที่หอยเป่าใช้อันในแต่ละช่วงอายุใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) ในสภาวะอุณหภูมิและความเค็มต่างๆกัน จะคำนวณได้จากการแปลงสมการชีวพลังงานพื้นฐานของการจัดสรรพลังงานที่ได้รับจากสมการที่ (2) ได้ดังนี้

$$P = I - (F + U + R) = Ab - (R + U) \quad (7)$$

เมื่อ P คือพลังงานที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต, I คือปริมาณอาหารที่ได้รับหรือปริมาณพลังงานที่ได้รับ, F คือพลังงานที่สูญเสียไปจากอาหารส่วนที่ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้และถูกขับออกมาในรูป feces, U คืออัตราการขับถ่ายหรือพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการขับถ่ายของเสียออกนอกร่างกาย, R คืออัตราการหายใจ หรือพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากความร้อนในรูปของการหายใจ และ Ab คือความสามารถในการดูดซึมอาหารหรือพลังงานไปใช้ทั้งหมด (net absorption efficiency)

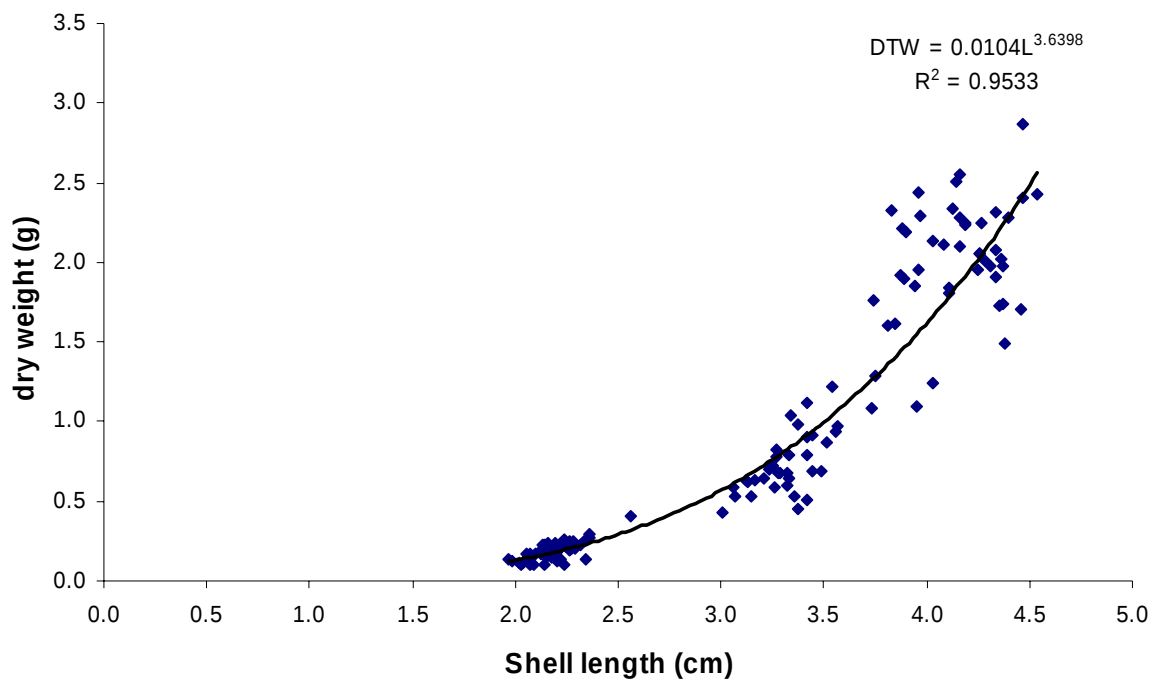
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะใช้สถิติพรรณนา และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA), การวิเคราะห์ความถดถอยแบบสหสัมพันธ์ (Multiple Regression Analysis)

4. ขอบเขตของการวิจัย

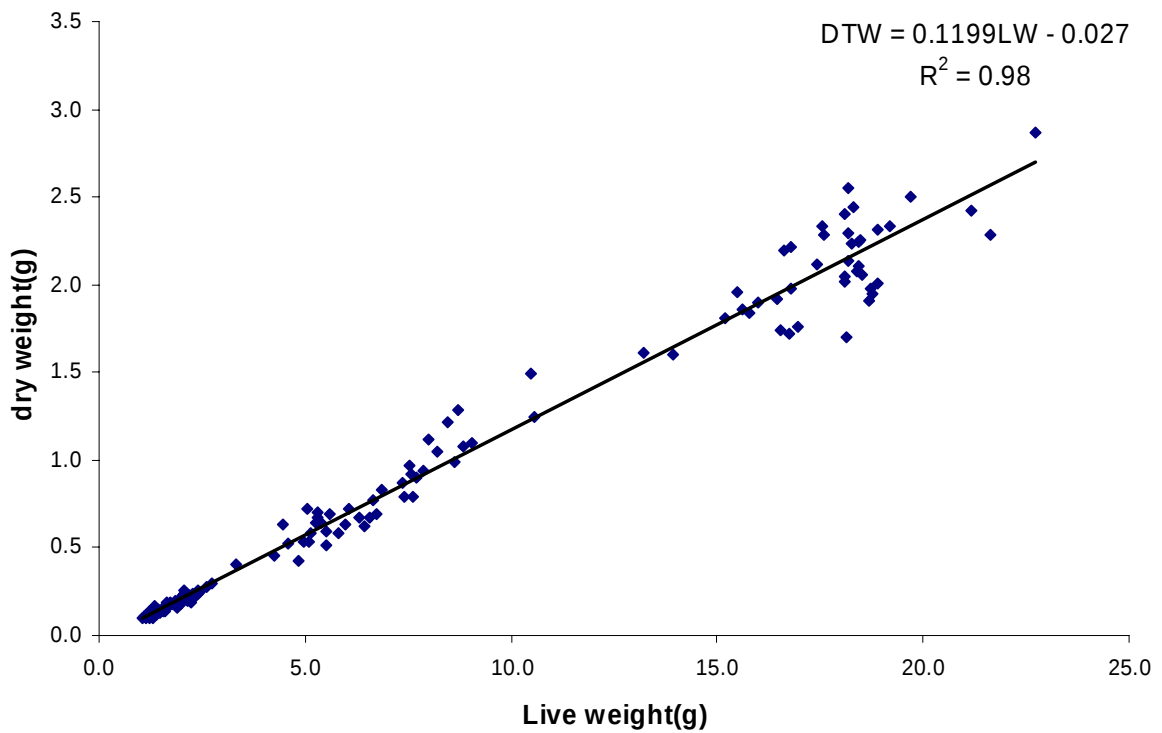
การวิจัยเป็นการศึกษาชีวพลังงานของหอยเป่าฮาลิโอไทยชนิด *Halotis asinina* ที่เลี้ยงแบบการทำฟาร์มบนบกในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิดในขนาดต่างๆ โดยทำการศึกษาดังปัจจัยทางสรีรวิทยาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมการชีวพลังงานซึ่งได้แก่ พลังงานที่ได้รับจากอาหาร พลังงานที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโต พลังงานที่สูญเสียไปจากการนำอาหารที่ไม่ได้รับการดูดซึม และของเสียต่างๆออกนอกร่างกาย และพลังงานที่สูญเสียออกไปในรูปความร้อนเนื่องมาจากขบวนการหายใจ รวมถึงการเติบโต

5. ผลการศึกษา

หอยเป่าฮาลิโอไทยชนิด *Halotis asinina* ความยาวเปลือก 2-4 ซม. ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มีน้ำหนักตั้งแต่ 1.07 ถึง 22.74 กรัม ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 0.09-2.86 กรัม ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง (DTW) หน่วยเป็นกรัม (g) และความยาวเปลือก (L) หน่วยเป็นเซนติเมตร (cm) ในรูปสมการยกกำลัง คือ $DTW = 0.0104 L^{3.6398}$ (ภาพที่ 5) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเปียก (LW; g) และน้ำหนักแห้ง (DTW; g) อยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดย $DTW = 0.1199LW - 0.027$ (ภาพที่ 6) หอยเป่าฮาลิโอกลุ่มแรกที่มีความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ซม. มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.189 กรัม ส่วนกลุ่มที่สองที่มีความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 ซม. มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.795 กรัม และกลุ่มสุดท้ายที่มีความยาวเปลือกเฉลี่ย 4 ซม. มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 2.096 ซม.ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลือก (L) และน้ำหนักแห้ง (DTW) ของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* ในการทดลอง



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง (DTW) และน้ำหนักสดของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* ที่ขนาดต่างๆ

อัตราการกินอาหารและการดูดซึม (Feeding intake and absorption rate)

องค์ประกอบของอาหารสำเร็จที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งแหล่งโปรตีนหลักจะมาจากกากถั่วเหลือง และมีปลาป่นเป็นแหล่งของโปรตีนรอง ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารสำเร็จที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงไว้ดังตารางที่ 2 องค์ประกอบหลักของอาหารสำเร็จคือโปรตีน (27.62 เปอร์เซ็นต์) โดยจะให้ค่าทางพลังงานเท่ากับ 4062.7 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งคิดเป็น 17.0 จูลต่อมิลลิกรัมอาหาร อัตราการกินอาหารของหอยเป่าฮื้อมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยหอยเป่าฮื้อกลุ่มที่มีขนาดเล็ก (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 2 ซม.) มีอัตราการกินอาหารมากที่สุดคือ 0.76 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ของน้ำหนักสด ในขณะที่หอยเป่าฮื้อในกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีอัตราการกินอาหารน้อยลงคือ 0.48 และ 0.53 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดสำหรับหอยเป่าฮื้อความยาวเปลือกเฉลี่ย 3 และ 4 ซม. ตามลำดับ (ภาพที่ 7)

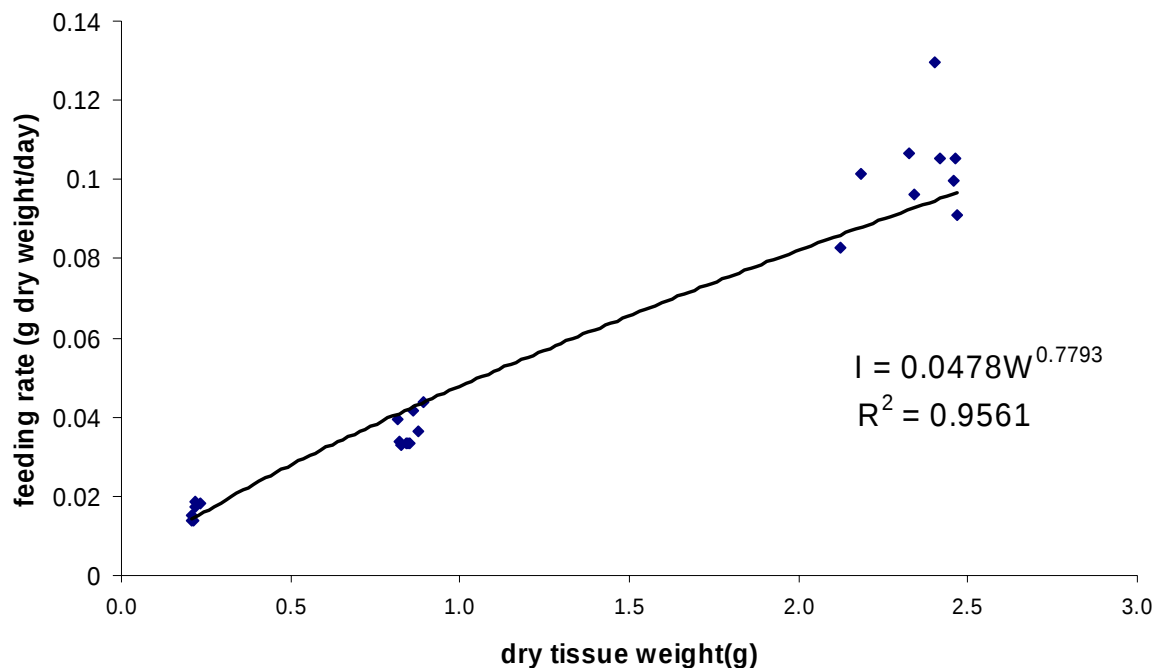
เมื่อพิจารณาถึงอัตราการดูดซึมอาหารพบว่า อยู่ในช่วงประมาณ 80.9 -84.6 เปอร์เซ็นต์ โดยหอยเป่าฮื้อขนาดความยาวเฉลี่ย 3 ซม. มีอัตราการดูดซึมอาหารสูงสุด ค่าพลังงานที่หอยแต่ละขนาดได้รับในแต่ละวันเท่ากับ 162.20, 372.64 และ 939.52 จูลต่อวัน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารสำเร็จ

Ingredients	g.kg-1
Fish meal	183.3
Soybean meal	416.7
Corn meal	212.5
Starch	110.0
Algal meal	50.0
Vitamin mixture	5.0
Mineral mixture	5.0
Vitamin C	5.0
Fish oil	2.5
Gelatin	10.0

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารและพลังงานในอาหาร

Crude protein (%)	Total lipid (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Energy content Kcal.kg-1
27.96	4.02	7.88	9.26	4062.7

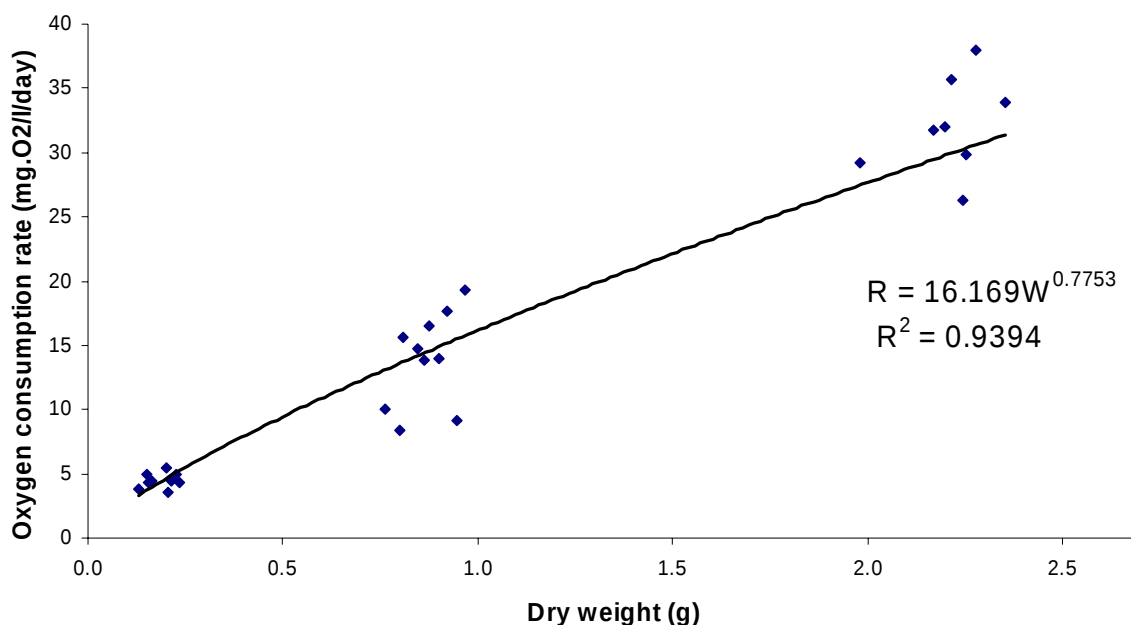


ภาพที่ 7 อัตราการกินอาหารของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง

อัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption)

อัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อทั้ง 3 ขนาดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.0001$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการบริโภคออกซิเจนเฉลี่ยของหอยที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 4.47 ± 0.58 , 13.94 ± 3.67 และ 32.07 ± 3.73 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวันตามลำดับ (ภาพที่ 8) เมื่อคิดเป็นพลังงานที่ต้องใช้ในขบวนการนี้เท่ากับ

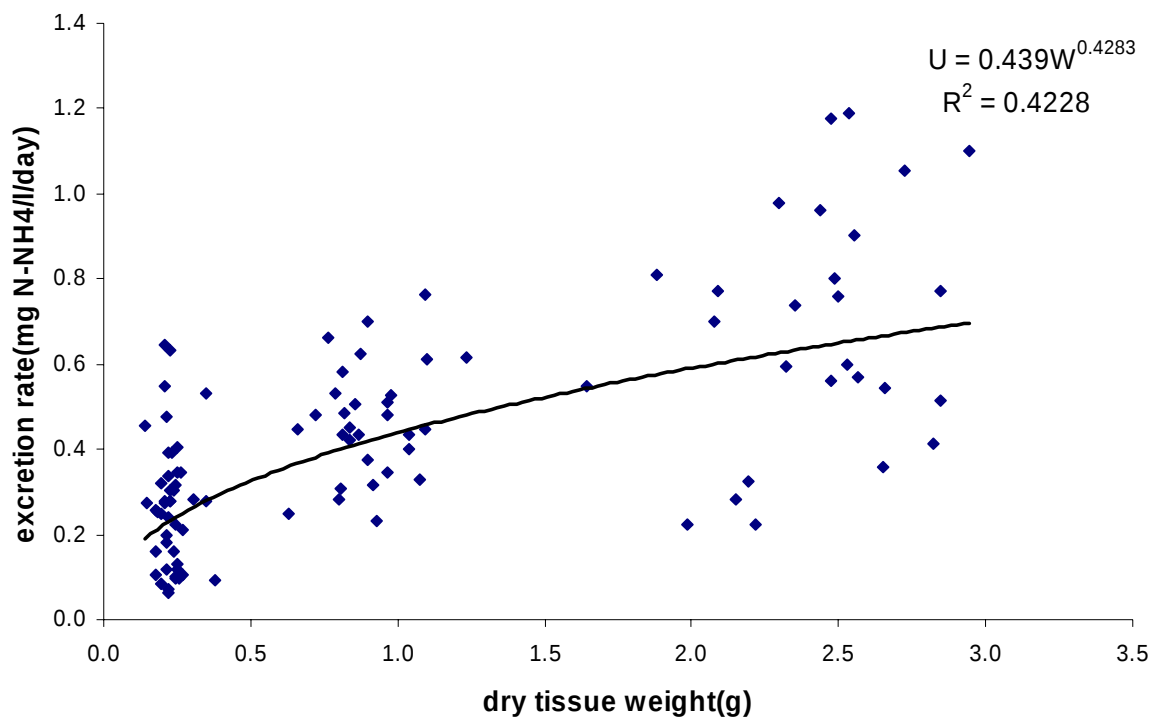
90.86, 283.30 และ 651.92 จุลต่อวัน ซึ่งเท่ากับ 56.02, 76.02 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากการกินอาหารของหอยเป่าฮื้อทั้งสามขนาดตามลำดับ



ภาพที่ 8 อัตราการบริโภคออกซิเจนของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง

อัตราการขับถ่ายแอมโมเนีย (ammonia excretion)

อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าฮื้อแต่ละขนาดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p < 0.0001$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดเฉลี่ย (ภาพที่ 9) โดยอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้อที่มีขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 2, 3 และ 4 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.267 ± 0.148 , 0.4664 ± 0.133 และ 0.684 ± 0.2828 มิลลิกรัมแอมโมเนียไนโตรเจนต่อลิตรต่อวันตามลำดับ และมีการใช้พลังงานในการขับถ่ายแอมโมเนียเท่ากับ 5.17, 9.04 13.27 จุลต่อวัน ซึ่งคิดเป็นเป็น 3.19, 2.43 และ 1.41 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด



ภาพที่ 9 อัตราการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโต (Scope for growth)

จากผลการศึกษาที่ได้พลังงานที่ได้รับจากการกินอาหาร พลังงานที่สูญเสียไปกับการบริโภค ออกซิเจนและการขับถ่ายแอมโมเนียของหอยเป่าฮื้อแต่ละขนาดจะสามารถประเมินพลังงานที่เกี่ยวข้องใน สมการชีวพลังงานและพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตได้จากสมการที่ (7) โดย $P = Ab - (R + U)$ ซึ่งสรุป ได้ดังตารางที่

ตารางที่ 3 ค่าต่างๆในสมการชีวพลังงานของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *H. asinina* ขนาดต่างๆที่ได้รับอาหาร สำเร็จ

Size group (cm)	Net absorption (Ab; J.day ⁻¹)	Respiratory rate (R; J.day ⁻¹)	Excretion rate (U; J.day ⁻¹)	Scope for growth (P; J.day ⁻¹)
2.0	162.20	90.86	5.17	66.16
3.0	372.64	283.30	9.04	80.30
4.0	939.52	651.92	13.26	274.32

ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโต (Growth efficiency)

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตทั้งหมด (Gross growth efficiency; K_1) ของหอยเป่าฮื้อทั้งสามขนาดมีค่าเท่ากับ 0.17 โดยหอยเป่าฮื้อขนาดเล็กกลุ่มที่มีความยาวเปลือก 2 ซม. แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มอื่นๆ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสุทธิ (Net growth efficiency; K_2) ของหอยเป่าฮื้อทั้งสามขนาดมีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 0.22-0.41 โดยหอยเป่าฮื้อขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยดังกล่าวสูงที่สุดและแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับหอยเป่าฮื้อในกลุ่มอื่นๆเช่นกัน

วิจารณ์ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหอยเป่าฮื้อในขนาดต่างๆที่นำมาจากระบบเลี้ยงเข้าสู่ระบบทดลองอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมและไม่มีความเครียด ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานที่หอยเป่าฮื้อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) ในทุกขนาดมีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าหอยเป่าฮื้อนำพลังงานที่ได้รับจากอาหารไปใช้ในขบวนการต่างๆโดยไม่ได้นำพลังงานที่สะสมไว้ในร่างกายไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบเลขยกกำลังของสมการ allometric ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและความยาวเปลือกของหอยเป่าฮื้อไทยชนิด *Haliotis asinina* ในการศึกษาครั้งนี้ที่มีค่าเท่ากับ 3.63 ซึ่งสูงกว่าในหอยเป่าฮื้อชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะในเขตอบอุ่น (Bakai and Griffith, 1988) และเมื่อพิจารณาถึงพลังงานที่หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* กลุ่มที่มีขนาดเล็ก (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.0 ซม.) ได้รับต่อวันคือ 162.20 จูลต่อวันในขณะที่หอยเป่าฮื้อขนาดใหญ่ที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 4.0 ซม.) ได้รับต่อวันซึ่งมีค่ามากถึง 939.52 จูลต่อวัน ความแตกต่างดังกล่าวนี้สามารถพบได้เช่นเดียวกับการศึกษาอื่นๆเช่นกัน (Bakai and Griffith, 1988)

หอยเป่าฮื้อขนาดเล็ก (ความยาวเปลือกเฉลี่ย 2.0 ซม.) มีอัตราการกินอาหารสูงสุดคือประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ในขณะที่หอยเป่าฮื้อกลุ่มความยาวเปลือก 3 และ 4 ซม. มีอัตราการกินอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Farias et al. (2003) ซึ่งรายงานว่า หอยเป่าฮื้อในเขตอบอุ่นชนิด *H. fulgens* ความยาวเปลือก 1-2 ซม. มีอัตราการกินอาหารประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัวต่อวัน ส่วนในหอยเป่าฮื้อขนาดความยาวเปลือก 3 ซม. มีอัตราการกินอาหารเพียง 0.2 ของน้ำหนักตัวต่อวันเท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Bakai and Griffith, (1988) ในหอยเป่าฮื้อชนิด *H. midae* กลับพบว่าหอยเป่าฮื้อน้ำหนักสด 200-700 กรัมกินอาหารถึง 11 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ความแตกต่างดังกล่าวนี้อาจเนื่องมาจากหอยเป่าฮื้อดังกล่าวได้รับสาหร่ายเป็นอาหาร ซึ่งแตกต่างไปจากการศึกษาในครั้งนี้และของ Farias et al. (2003) โดยพลังงานและคุณค่าที่มีอยู่ในอาหารสำเร็จจะมีมากกว่าในสาหร่ายทำให้หอยเป่าฮื้อต้องกินสาหร่ายในปริมาณมากกว่าเพื่อให้ได้พลังงานเพียงพอแก่ความต้องการในการ

ดำรงชีวิต และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการดูดซึมของ *H. midae* เมื่อได้รับสาหร่ายเป็นอาหารจากการศึกษาของ Bakai and Griffith, (1988) ยังพบว่าอัตราการดูดซึมเพียง 37.25 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าในการศึกษาค้างนี้มากกว่าครึ่งหนึ่ง ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วความสามารถในการดูดซึมอาหารสำเร็จของ *H. asinina* ในทุกขนาดมีมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์เดียวกับการดูดซึมอาหารสำเร็จในการศึกษาของ Yamazaki (1998) ในหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* (78-81 เปอร์เซ็นต์) และ *H. fulgen* (85-89 เปอร์เซ็นต์) ในการศึกษาของ Farias et al. (2003). อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาที่พบว่าหอยเป่าฮือที่ได้รับสาหร่ายเป็นอาหารมีอัตราการดูดซึมอาหารสูง โดย Peck et al. (1987) รายงานว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. tuberculata* ที่ได้รับสาหร่าย *Ulva lactuca* เป็นอาหารมีอัตราการดูดซึมถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และ 81 เปอร์เซ็นต์ในหอยขนาดใหญ่ (50 กรัม) และ ขนาดเล็ก (0.01 กรัม) ตามลำดับ

ค่าเลขยกกำลังในสมการ allometric ของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบริโภคออกซิเจนและขนาดในการศึกษาค้างนี้เท่ากับ 0.78 ซึ่งต่ำกว่าที่รายงานไว้ในการศึกษาของ Bakai and Griffith (1988) ใน *H. midae* ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.81 (ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส) และ 0.93 (ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามตัวเลขดังกล่าวนี้มีค่าแตกต่างกันได้มากในกลุ่มหอยฝาเดียวคือตั้งแต่ 0.51 ถึง 0.94 (Navarro and Torrijos, 1994). สัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในขบวนการหายใจของหอยเป่าฮือในการศึกษาค้างนี้มีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับจากอาหารในทุกขนาด สูงกว่าหอยเป่าฮือขนาดใหญ่ในเขตอบอุ่นและเขตนาน โดยหอยเป่าฮือชนิด *H. fulgen* ขนาดความยาวเปลือก 1-2 ซม. ที่ใช้พลังงาน 31.1 เปอร์เซ็นต์ จากพลังงานที่ได้รับมาใช้ในขบวนการหายใจ ส่วนความยาวเปลือก 5-6 ซม. จะให้พลังงานที่ได้รับจากอาหารในการหายใจเพิ่มขึ้นคือ 50.7 เปอร์เซ็นต์ (Farias et al., 2003) ดังนั้นจึงถือได้ว่าพลังงานที่ใช้เพื่อขบวนการเมตาบอลิซึมของหอยเป่าฮือในเขตร้อนเป็นสัดส่วนหลักของพลังงานที่ใช้การดำรงชีวิต สมมติฐานนี้สนับสนุนผลการศึกษาของ Baldwin et al. (2006) ที่รายงานว่าหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* มีอัตราการเมตาบอลิซึมสูงเมื่อเทียบกับหอยเป่าฮืออื่นๆในเขตอบอุ่น

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียและขนาดในการศึกษาค้างนี้ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเลขยกกำลังในสมการ allometric เพียง 0.42 ต่ำกว่าที่รายงานไว้ในหอยเป่าฮือชนิดอื่น (Bloomberg, 1981; Peck et al., 1987; Navarro and Torrijos, 1994) สัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการขับแอมโมเนียออกจากร่างกายถือว่าต่ำคือระหว่าง 1.41-3.19 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่รับจากอาหารโดยหอยเป่าฮือกลุ่มที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียมากกว่ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและไนโตรเจนที่ขับถ่าย (O:N ratio) แสดงให้เห็นถึงระดับการใช้โปรตีนในขบวนการเมตาบอลิซึมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Bayne et al., 1985) อย่างไรก็ตามสัดส่วนดังกล่าวนี้เป็นเพียงสิ่งสะท้อนถึงขบวนการ catabolism ของอาหารที่ได้รับเมื่อโปรตีนอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับความต้องการเพื่อนำมาใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึม (Mayzaud and Conover, 1988)

โดยค่า O:N ratio ที่ต่ำกว่า 16 แสดงให้เห็นถึงความต้องการในการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานหลัก ในขณะที่ค่าที่อยู่ระหว่าง 50-60 แสดงให้เห็นถึงการใช้โปรตีนและไขมันเป็นแหล่งพลังงานในสัดส่วนเท่าๆกัน ในการศึกษาครั้งนี้ค่าสัดส่วนดังกล่าวนี้ในหอยเป่าฮือแต่ละขนาดเท่ากับ 16.7 29.9 และ 46.9 สำหรับหอยเป่าฮือความยาวเปลือก 2.3 และ 4 ซม. ตามลำดับ ค่าที่ได้นี้อยู่ในช่วงกว้างระหว่างค่าที่ต่ำและสูง โดยมีความแตกต่างกันมากในแต่ละขนาด แต่เมื่อพิจารณาโดยเฉลี่ยแล้วพบว่าหอยเป่าฮือในการศึกษานี้ใช้โปรตีนเป็นสารอาหารหลักในขบวนการเมตาบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต

พลังงานที่ได้รับจากอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโต (scope for growth) เป็นดัชนีที่ดีที่สามารถใช้ชี้วัดผลจากสภาวะแวดล้อมหรือภาวะมลพิษอันเกิดจากการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic stressors) ที่มีต่อสิ่งมีชีวิต มีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในหอยสองฝา ซึ่งใช้ค่าพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตเป็นดัชนีบ่งชี้สภาวะแวดล้อมในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Clarke, 1997) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าหอยเป่าฮือทุกขนาดสามารถนำพลังงานจากอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีตั้งแต่ 21.5-40.8 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ได้รับจากอาหารทั้งหมด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าฮือในเขตอบอุ่นแล้วพบว่าพลังงานที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโตในการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่า ข้อสังเกตสำหรับการศึกษานี้ประการหนึ่งคือ มิได้ประเมินความสมบูรณ์เพศของหอยที่ทำการศึกษา ซึ่งอาจเป็นข้อบกพร่องประการหนึ่งเนื่องจากหอยที่เริ่มสมบูรณ์เพศจะต้องนำพลังงานส่วนหนึ่งไปใช้ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (reproductive growth) ทำให้พลังงานที่จะนำมาใช้ในการเจริญเติบโตเพื่อสร้างเนื้อในตัว (somatic growth) ลดลง

ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตทั้งหมด (gross growth efficiency; K_1) และค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสุทธิ (net growth efficiency) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการเปลี่ยนอาหารที่ได้รับเป็นเนื้อเยื่อในร่างกายในการศึกษานี้มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหอยเป่าฮือในเขตอบอุ่นชนิดอื่นๆที่ได้รับอาหารสำเร็จ อย่างไรก็ตามจากการที่หอยเป่าฮือ *H. asinina* มีอัตราการกินอาหารและอัตราการดูดซึมอาหารไปใช้สูงน่าจะทำให้อัตราการเติบโตของหอยชนิดนี้สูงกว่าหอยในเขตอบอุ่นในช่วงระยะเวลาดียวกัน (Farias et al., 2003)

โดยสรุปจากการศึกษานี้คือหอยเป่าฮือชนิด *H. asinina* ขนาดความยาวเปลือก 2-4 ซม. ที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบกึ่งปิดและได้รับอาหารสำเร็จที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนประมาณ 27.9 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสจะใช้พลังงานเพื่อการหายใจ 67.2 เปอร์เซ็นต์ ใช้พลังงานเพื่อการขับถ่ายแอมโมเนีย 2.3 เปอร์เซ็นต์และนำพลังงานจากอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 30.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตในหอยขนาดใหญ่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการหายใจและขับถ่ายแอมโมเนียมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตเพื่อกระบวนการอื่น เช่นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ หรือพลังงานที่ใช้ในการสร้างเมือกเนื่องจากมี

การศึกษาจากผู้วิจัยหลายรายที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของพลังงานที่ใช้ในการสร้างเปลือกในหอยฝาเดียว (Peck et al., 1987; Davies and Williams, 1995)

เอกสารอ้างอิง

- Barkai R. Griffiths C L. An energy budget for the South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. *Journal of Molluscan Study* 1988; 54: 43–51.
- Bayne B L, Brown D A, Burns K, Dixon D R, Ivanovici A, Livingstone D R, Lowe D M, Moore M N, Stebbing A R D, Widdows J, *The Effects of Stress and Pollution on Marine Animals (Praeger special studies)*. Praeger Scientific, Westport, CT 1985.
- Beiras R, Perez Camacho A, Albentosa M. Short-term and long-term alterations in the energy budget of young oyster *Ostrea edulis* L. in response to temperature change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 1995; 186: 221-236
- Bloomberg S. An energy budget for the paua (*Haliotis iris* Martyn). Unpublished B.Sc. Honours project University of Canterbury 1981.
- Branch G M. The biology of limpets: Physical factors, energy flow and ecological interactions. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review* 1981; 19: 235–380.
- Capinpin Jr. E C, Toledo J D, Encena II V C, Doi M. Density dependent growth of the tropical abalone *Haliotis asinina* in cage culture. *Aquaculture* 1999; 171:227-235.
- Chen J C, Chen W C. Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 1999; 124: 73-80.
- Clark R B. *Marine Pollution* (4th eds).Clarendon Press. Oxford 1997. 161 p.
- Davies, M.S., Williams, G.A.Pedal mucus of a tropical limpet, *Cellana grata* (Gould): energetics, production and fate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995; 186, 77– 87.
- Fallu R. *Abalone Farming*. Fishing News Books, Oxford 1991. 195 p.
- Farías A, García-Esquivel Z, Viana M T. Physiological energetics of the green abalone, *Haliotis fulgens*, fed on a balanced diet. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2003; 289: 263-276.
- Fleming A, Hone P, Higham J. The effect of water velocity on consumption and growth greenlip abalone in tanks. In: Hone, P.W., Fleming, A. (Eds.), *Proceedings of the 4th*

- Annual Abalone Aquaculture Workshop, Port Fairy, Victoria. FRDC, Canberra, Australia* 1997;16-23.
- Fleming A E, Van Barneveld R J, Hone P W, Vandeppeer M E, Kruk J A. Complementary additively of the digestibility coefficients of feed ingredients fed to juvenile greenlip abalone (*Haliotis laevis*). *Journal of Shellfish Research* 1998; 17: 641– 647.
- Freeman K A. Aquaculture and Related Biological Attributes of Abalone Species in Australia- A Review. *Fisheries Research Report No. 128*, Fisheries Western Australia, Perth 2001. 48 p.
- Gordon H R, Cook P R. World Abalone Supply, Markets and Pricing: Historical, Current and Future Perspectives. In: 5th *International Abalone Symposium*, Qingdao 2003.
- Grant J. The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of cultured bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 1996; 200: 239-256.
- Niu C.J., Nakao S, Goshima S. Energetics of limpet *Lottia kogamogai* (Gastropoda: Acmaeidae) in an intertidal rocky shore in southern Hokkaido, Japan. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 1998; 224:167-181.
- Hahn K O. *Handbook of Culture Abalone and other Marine Gastropods*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1989. 348 p.
- Harris J O, Maguire G B, Edwards S J, Hindrum S M. Effect of ammonia on growth rate and oxygen consumption for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture* 1998; 160: 259–272.
- Higham J, Hone P, Clarke S, Baudinette R, Geddes M. The effect of flow on growth in juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* (Donovan). In: Hone, P.W. (Ed.), *Proceedings of the 5th Annual Abalone Aquaculture Workshop*, Hobart. FRDC, Canberra, Australia 1998. 115–122.
- Hindrum S M, Cropp M, Maguire G B. Evolution of abalone growout tank design at Marine Shellfish Hatcheries, Bicheno, Tasmania. *Proceedings 2nd Annual FRDC/CRC Workshop on Abalone Culture, CSIRO Marine Laboratories*, Hobart. FRDC, Canberra, Australia 1995; 78–91.
- Hooker N, Morse D E. Abalone: the emerging development of commercial cultivation in the United States. In: Huner, J.V., Brown, E.E. (Eds.), *Crustaceans and Mollusk Aquaculture*

- in the United States. AVI Publishing Co., Westport, CT 1985. 365p.
- Huchette S M H, Koh C S, Day R W. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tanks: effects of density and ammonia. *Aquaculture*. 2003; 219: 457-470
- Jarayabhand P, Kojima H, Menasveta P. Embryonic and larval development, and early growth of hatchery-produced abalone (*Haliotis ovina* Gmelin, 1791) seed. *Thailand Journal of Aquatic Science* 1995; 1(2): 194-202.
- Jarayabhand P, Paphavasit N. A review of the culture of tropical abalone with special reference to Thailand. *Aquaculture* 1996; 140: 159–168.
- Jobling M. *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hill. Suffolk. 1994. 309 p.
- Koike Y, Flassch J, Mazurier J. Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Haliotis tuberculata* Linnaeus: II. Influence of food and density on the growth of juveniles. *La Mer* 1979; 17: 43– 52.
- La Touche B, Moylan K, Twomey W. Abalone on-growing manual. *Aquaculture Experiment* 1993; 14: 39-49.
- Loipersberger M. SAABDEV tank report. In: Hone, P.W. (Ed.), *Proceedings of the 4th Annual Abalone Aquaculture Workshop*, Port Fairy, Victoria. FRDC, Australia, 1997; 2 – 4.
- Lovatelli A. Abalone: a new candidate for the Thai sea farming industry. *Thailand Fisheries Gazette*. 90; 43(3): 215-217.
- Martinez G, Caceres L A, Uribe E, Diaz M A. Effects of different feeding regimes on larval growth and energy budget of juvenile Chilean scallop, *Argopecten purpuratus* Lamarck. *Aquaculture* 1995; 132: 313-323.
- Mercer J P, Mai K S, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus and *Haliotis discus hannai* Ino: I. Effects of algal diets on growth and biochemical composition. *Invertebrate Reproductive Development* 1993; 23: 75– 88.
- Mayzaud, P., Conover, R.J.. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. *Marine Ecology Progress Series*, 1988. 45, 289– 302.
- Navarro, J.M., Torrijos, R., Seasonal variation in oxygen uptake and ammonia excretion in the predatory gastropod *Concholepas concholepas* (Brugiere, 1789). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1994; 108A, 39– 46.

- Nash C E. The production of abalone. In: Nash, C.E. Ed., *Production of Aquatic Animals: Crustaceans, Molluscs, Amphibians and Reptiles*. Elsevier, Amsterdam, 1991;173–181.
- Nateewathana A, Hylleberg J. A survey on Thai abalone around Phuket Island and feasibility study of abalone culture in Thailand. *Thailand Fisheries Gazette* 1986; 39: 177-192 (in Thai, with English abstract).
- Nateewathana A, Bussarawit S. Abundance and distribution of abalone along the Andaman Sea Coast of Thailand. *Kasetsart Journal of Science* 1988; 22: 8-15 (in Thai, with English abstract).
- Peck, L.S., Culley, M.B., Helm, M.M., A laboratory energy budget for the ormer *Haliotis tuberculata* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1987; 106, 102–123.
- Singhagraiwan T, Doi M. Seed production and culture of a tropical abalone, *Haliotis asinina* Linne. *The Research Project of Fishery Resources Development in the Kingdom of Thailand*. The Eastern Marine Fisheries Development Center (EMDEC), Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand, 1993. 32p.
- Tahil A S, Juinio-Menez M A. Natural diet, feeding periodicity and functional response to food density of the abalone, *Haliotis asinina* L. (Gastropoda). *Aquaculture Research* 1999; 30: 95– 107.
- Uki N, Kikuchi S. Oxygen consumption of abalone, *Haliotis discus hannai* in relation to body size and temperature. *Bulletin of Tohoku Region Fisheries Research Laboratory* 1975; 35: 73-80.
- Williams K, Degnan B. Development of a cocktail abalone aquaculture industry for tropical Australia. In: P. Hone and A. Fleming (Eds). *AB-brief, Developments in abalone aquaculture*. Fisheries Research and Development Corporation 1998; 2(2):3.
- Wright J R, Hartnoll R G. An energy budget for a population of the limpet *Patella vulgata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 1981; 61: 627–646.
- Yamasaki, M. Energy budget of laboratory reared juvenile abalone *Haliotis discus* and *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of Tohoku National Fisheries Research Institute*. 1998; 60, 63–68.