



Research Article

การผลิตน้ำทะเลเทียมเพื่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในระบบปิด

Artificial Seawater Production for Pacific White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture in Closed System

จุฑามาศ ทะแกล้วพันธุ์*

Chuthamat Thaklaewphan *

สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

Department of Aquaculture, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Muang, Phetchaburi 76000, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-07-20

Revised: 2024-10-09

Accepted: 2025-03-05

Keywords:

artificial seawater;

pacific white shrimp;

sea salt;

Concentrated brine a by-product of Thai sea salt farming can be used for raising low-salinity marine shrimp in a closed system. However, transporting and storing brine remain challenging, and its mineral composition is unstable. This research aims to study the effect of different artificial seawater treatments, flowers of salt and artificial seawater prepared from concentrated salt water on the growth of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in a closed system using a completely randomized design. The experiment included three treatments: "(1) a control unit using brine (280 ppt) from a Naklua farm, (2) flower of salt obtained from the farm, and (3) artificial seawater prepared from 60 ppt. concentrated saltwater used to accelerate crystallization. Seventy-two shrimp with an initial average weight of 11.42 ± 2.21 g were randomly placed into 200-liter fiber tanks at a density of 8 shrimp/m², with constant aeration for 60 days, while water salinity was maintained at 15 ppt. Monitoring parameters included shrimp weight, survival rate, molting frequency, and water quality. The results showed that weight gain and survival rates of shrimp across all treatments were not statistically different ($p > 0.05$). Specifically, the survival rates for treatments 1, 2, and 3 were 98.0%, 97.3%, and 97.5%, respectively. However, FCR values in treatments 2 and 3 were lower than in treatment 1. ($p < 0.05$) The color of boiled shrimp was compared using the Munsell Color Book, resulting in 5YR 5/12, 5YR 7/6, and 5YR 6/8, respectively. The result from the sensory evaluation of appearance, odor, taste, and texture of shrimp showed that the three artificial seawater formulations received scores ranging from 6.47 to 6.77 ("like moderately"). Therefore, artificial seawater produced from brine and flowers of salt can be used, as the growth, survival rate, and sensory evaluation were not significantly different from those of conventional saline cultures.

* Corresponding author.

E-mail address: Chuthamat.tha@mail.pbru.ac.th

Cite this article as:

Thaklaewphan, C. 2025. Artificial Seawater Production for Pacific White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture in Closed System. **Recent Science and Technology** 17(2): 259815.

บทคัดย่อ

น้ำเค็มเข้มข้นเป็นผลพลอยได้จากการทำนาเกลือของไทยสามารถนำมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งทะเลความเค็มต่ำในระบบปิด แต่การขนส่งน้ำเค็มเข้มข้นไปยังพื้นที่การเลี้ยงและการเก็บรักษายังมีความยุ่งยาก และน้ำเค็มมีองค์ประกอบของแร่ธาตุไม่คงที่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของการใช้น้ำเค็มเข้มข้นในนาเกลือ ดอกเกลือและน้ำทะเลเทียมที่เตรียมได้จากน้ำเค็มเข้มข้นที่มีต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ซึ่งเลี้ยงในระบบปิด วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) -3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุม ใช้น้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือความเค็ม 280 ส่วนในพันส่วน ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำดอกเกลือที่ได้จากนาดิน ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำทะเลเทียมที่เตรียมจากน้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือ 60 ส่วนในพันส่วนแล้วนำมาเร่งการตกผลึก กุ้งทดลองมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 11.42 ± 2.21 กรัม คัดกุ้งที่มีขนาดใกล้เคียงกันมา 72 ตัว จากนั้นทำการสุ่มปล่อยลงเลี้ยงในถังไฟเบอร์ขนาด 200 ลิตร อัตราความหนาแน่น 8 ตัวต่อตารางเมตร ให้อากาศตลอดเวลา ควบคุมความเค็มของน้ำ 15 ส่วนในพันส่วน เก็บตัวอย่างกุ้งเพื่อชั่งน้ำหนัก อัตรารอด ความถี่ในการลอกคราบ และตรวจวัดคุณภาพน้ำ ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการรอดของกุ้งในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) อัตรารอด 95.83, 91.67 และ 91.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p > 0.05$) แต่อัตราแลกเนื้อของชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 ($p < 0.05$) และผลการเทียบสีของกุ้งตรงกับสมุดวัดสีของมัลเซลล์พบว่าสีของกุ้งมีรหัส 5YR 5/12, 5YR 7/6 และ 5YR 6/8 ตามลำดับ ผลจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านรูปลักษณ์ กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของกุ้ง พบว่า สูตรน้ำทะเลเทียมทั้ง 3 สูตร มีระดับการยอมรับโดยรวมของกุ้ง ได้คะแนนตั้งแต่ 6.47 ถึง 6.77 (ระดับ “ชอบปานกลาง”) ดังนั้น ผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ น้ำทะเลเทียมหรือดอกเกลือได้โดยให้ผลการเจริญเติบโต อัตรารอด และผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากการใช้น้ำนาเกลือเลี้ยงตามปกติ

คำสำคัญ: น้ำทะเลเทียม, กุ้งขาวแวนนาไม, เกลือทะเล

1. บทนำ

ระบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เชิงอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะนำน้ำเค็มจากนาเกลือมาผสมกับน้ำจืดและเลี้ยงในบ่อระบบความเค็มต่ำ ภายใต้การจัดการเลี้ยงระบบปิด ปล่อยกุ้งเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นสูง แต่การนำน้ำเค็มจากนาเกลือขนส่งไปยังพื้นที่ในการเลี้ยงนั้นใช้ทรัพยากรทุกน้ำเค็มเฉพาะ ซึ่งยุ่งยากต่อการจัดการขนส่งและอาจมีความเสี่ยงต่อสารปนเปื้อนที่เกิดจากกักต่อนของน้ำเค็มต่อภาชนะบรรจุ อีกทั้งหากเปลี่ยนน้ำเค็มให้อยู่ในรูปของผลึกของแข็งที่เรียกว่าน้ำทะเลเทียมจะมีข้อดีต่อการขนส่ง การเก็บรักษา และการจัดการเนื่องจากน้ำเค็มเข้มข้นที่ถูกตกผลึกแล้วนำไปผสมแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกุ้งนั้นจะมีความคงตัวขององค์ประกอบของเกลือแร่ มีการเก็บรักษา และการขนส่งทำได้สะดวกเนื่องจากบรรจุในกระสอบเป็นภาชนะห่อหุ้มมิดชิด อีกทั้งยังป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในการเลี้ยง เช่น โรคของกุ้ง ภูมิอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย จึงนำมาสู่การเลี้ยงกุ้งในระบบปิด องค์ประกอบแร่ธาตุในน้ำที่ใช้เลี้ยงก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลี้ยงกุ้งให้ประสบความสำเร็จที่ดี เพราะน้ำทะเลและเลือดของสัตว์ทะเลมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกัน องค์ประกอบของน้ำทะเลจากอ่าวไทย 100 กรัม เมื่อทำแห้งโดยไม่มีการเก็บผลผลิตเกลือออกในกระบวนการผลิตที่มีความชื้นร้อยละ 11.8 พบว่ามีแร่ธาตุ

หลัก ได้แก่ แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต เป็นต้น (Sirithanawong and Thakleawphan, 2019) เมื่อทำให้น้ำทะเลแห้งก็จะเกิดผลึกเกลือที่ได้จากการตากน้ำทะเล ซึ่งเป็นของแข็งมีปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างไปจากเดิม แต่ยังคงมีชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบคล้ายเดิม แม้ว่านักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะพยายามในการพัฒนาสูตรน้ำทะเลเทียมเพื่อใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทะเลในระบบปิดมาอย่างยาวนาน แต่ความนิยมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมระบบความเค็มต่ำแต่ความหนาแน่นสูงโดยใช้เทคโนโลยีแบบพัฒนายังยวดยในปัจจุบันได้เป็นโจทย์ใหม่ที่ทำนายระบบการเลี้ยงกุ้งเพื่อความยั่งยืน เพราะเกลือแร่ที่เคยมีอย่างเพียงพอในน้ำทะเลของระบบการเลี้ยงปกติจะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและอัตราการรอดของกุ้ง (Keawla-iad and Pratoonchat, 2010) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงในระบบความเค็มต่ำแต่ปล่อยกุ้งแน่นมากยิ่งส่งผลกระทบต่อระดับของ Na และ K ในระบบเลี้ยง ซึ่งมีผลต่อกิจกรรมของ $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมสมดุลออสโมติกในระบบของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ร่างกายกุ้ง ตลอดจนความเค็มน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น (Serrano *et al.*, 2007) ที่มีการรักษาสมดุลเกลือแร่และสมดุลออสโมติก (iso-osmotic and ionic points) ในการเลี้ยง ในปัจจุบันพบว่ามีการใช้แร่ธาตุเสริมในการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเพื่อจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกันไป ได้แก่ การเพิ่มการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตาย (Nehru *et al.*, 2018) การเพิ่มผลผลิตในระบบการเลี้ยง

แบบผสมผสานไฮโดรโพนิคส์ (Armenta-Bojórque *et al.*, 2021) การเสริมระบบภูมิคุ้มกัน การลดต้นทุนการผลิต การควบคุมโรค (Citarasu *et al.*, 2022) การปรับปรุงคุณภาพน้ำ การส่งเสริมสุขภาพลำไส้และระบบย่อยอาหาร การลดมลพิษทางน้ำ (Lin *et al.*, 2005; Moura *et al.*, 2023) เป็นต้น แต่ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นที่จะผลิตน้ำทะเลเทียมจากเกลือทะเลเป็นแหล่งแร่ธาตุเสริมในระบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเพื่อให้กุ้งขาวแวนนาไมมีการเจริญเติบโตและอัตราการรอดที่ดี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการใช้แร่ธาตุเสริมในระบบการเลี้ยงแบบปิดโดยใช้น้ำเค็มเข้มข้นที่เหลือในนาเกลือมาพัฒนาต่อยอดให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกพร้อมใช้ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมเกลือทะเลที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมการผสมแร่ธาตุกับเกลือเพื่อทำน้ำทะเลเทียมในการทำการทดลองประกอบไปด้วย ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ใช้น้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือผสมน้ำจืดเลี้ยงโดยไม่ต้องผสมแร่ธาตุ ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ดอกเกลือที่ได้จากนาดินของเกษตรกรผสมกับปูนโดโลไมท์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปูนขาว 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปละลายน้ำจืดเพื่อเตรียมน้ำให้มีความเค็มตามต้องการ ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำทะเลเทียมที่เตรียมจากน้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือ 60 ส่วนในพันส่วน แล้วนำมาเร่งการตกผลึก เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงหรือให้ได้ความเค็มประมาณ 180-200 ส่วนในพันส่วน จากนั้นนำไปตกผลึกในกระบะพลาสติกในโรงเรือนเป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ จึงเริ่มเก็บเกลือเพื่อนำไปผสมกับแร่ธาตุต่อไป นำเกลือที่ตกผลึกแล้วไปผสมปูนโดโลไมท์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปูนขาว 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปละลายน้ำจืดเพื่อเตรียมน้ำให้มีความเค็มตามต้องการ

จากนั้นนำตัวอย่างเกลือและน้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือไปวิเคราะห์โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการที่ผู้ผลิตเครื่องมือระบุ การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเกลือทะเลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) ร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy / EDS/EDX) (Thammanon and Aussavamas, 2012) โดยใช้ EDS, Element and Chemical Analysis by Oxford Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS

model INCA-350 และ SEM, micrograph by JEOL Electron Microscope : SEM model JSM-5410 LV , ประเทศญี่ปุ่น

การเตรียมน้ำทะเลเทียมเริ่มโดยการนำตัวอย่างเกลือและน้ำเค็มมาเกลือไปวิเคราะห์ ลักษณะของผลึกเมื่อพิจารณาผ่านภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุหลักองค์ประกอบธาตุในเกลือทะเลที่เป็นวัตถุุดิบในการผลิตน้ำทะเลเทียมแต่ละสูตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM-EDS จากตัวอย่างซึ่งจะถูกวิเคราะห์ออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าปริมาณ การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบธาตุชนิดต่าง ๆ ในเกลือทะเลซึ่งผลิตด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ซึ่งโดยปกติแล้วเกลือทะเลจะมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก ๆ คือ NaCl และมีส่วนประกอบรอง ได้แก่ KCl, MgCl, Mg₂SO₄, NaSO₄, Al₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, MgO, CaO และ Fe₂O₃ ฯลฯ การมีองค์ประกอบในสัดส่วนที่แตกต่างกันส่งผลให้สีฐานของผลึกเกลือที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างน้ำเค็มที่ใช้ในการทดลองชุดการทดลองต่าง ๆ มีรูปทรงแตกต่างกัน ทั้งนี้ ลักษณะผลึกของชุดการทดลองที่ 1 เตรียมตัวอย่างโดยการนำไปต้มจนกระทั่งแห้งและตกผลึกเป็นของแข็ง สีขาวขุ่น รูปทรงไม่สม่ำเสมอแทรกด้วยผลึกรูปสี่เหลี่ยม ลักษณะผลึกของชุดการทดลองที่ 2 ผลึกสีขาวขุ่นเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมด้านเท่า ลักษณะรูปทรงผลึกสม่ำเสมอและมีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งกระบวนการผลิตได้จากเกษตรกรนำน้ำทะเลมาตากแดดในกระถางนาดิน เมื่อน้ำทะเลมีความเข้มข้นขึ้นอย่างช้า ๆ โดยอาศัยความร้อนจากแสงแดดและกระแสลมทำให้เกิดการก่อผลึกบริเวณผิวหน้าน้ำ เกาะตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ แล้วค่อยก่อผลึกหนาแน่นขึ้นจนกระทั่งจมตัวลงที่ผิวน้ำเมื่อเกลือเกาะตัวกันหนาขึ้น เกษตรกรจะใช้สวิงค่อย ๆ ช้อนแผ่นเกลือบริเวณผิวหน้าน้ำเค็มรวบรวมใส่ชั่งไม้เพื่อรอให้น้ำไหลออก แผ่นเกลือแห้งลงแล้วจึงแตกออกจากกันเป็นเกล็ดเกลือเล็ก ๆ เรียกว่า ดอกเกลือ หรือเกสรเกลือ มักพบว่ามียิ่งเจือปนน้อย มีสีขาว และมีรสเค็มปนหวาน มีโซเดียมคลอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก ชุดการทดลองที่ 3 ผลึกมีขนาดใหญ่ สีขาวใส เป็นรูปทรงเหลี่ยมด้านไม่เท่า ได้จากการเตรียมโดยให้ความร้อนจากแก๊สทุ้งต้มอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตากไว้ในกระบะพลาสติกประมาณ 18-24 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งตกผลึกได้ปริมาณตามต้องการ เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพเกลือทะเลที่นำมาใช้น้ำทะเลเทียมสูตรต่าง ๆ ว่ามีคุณสมบัติเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จึงจะนำผล

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเกลือทะเลที่ผลิตขึ้น
จากวิธีการต่าง ๆ (ดังแสดงในตารางที่ 1) มาประกอบ

ก่อนที่จะได้พิจารณาคุณภาพน้ำเค็มที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวในชุด
การทดลองต่าง ๆ ต่อไป

Table 1 Mean values of the chemical composition of artificial seawater in treatments (N=2 points)

Chemical composition (% by weight)	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3
Na	34.96	27.29	28.32
Cl	48.81	55.99	49.64
O	8.16	10.72	16.49
Ca	1.05	0.40	0.53
Mg	1.05	1.16	2.72
K	0.14	0.11	0.88
S	0.94	0.00	1.19
C	0.00	8.40	0.00
Al	0.00	0.19	0.24

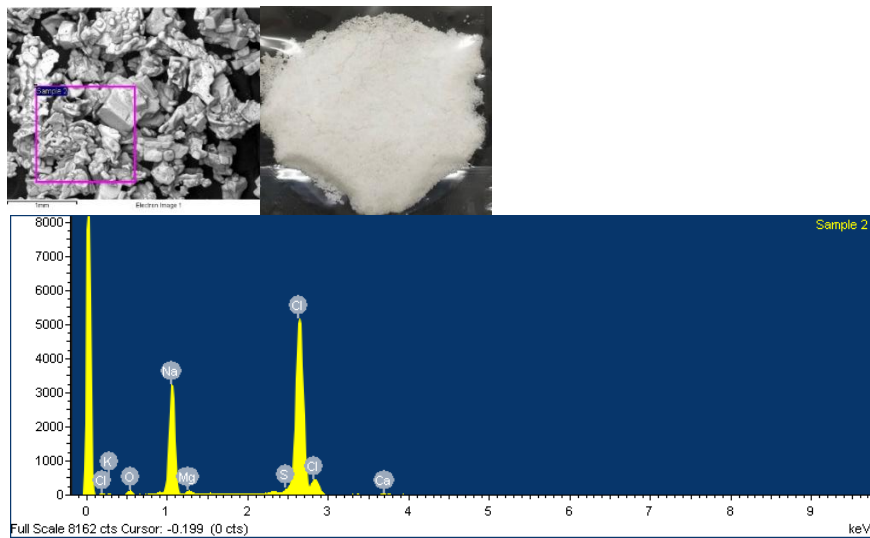


Figure 1 SEM images and XRD patterns of seawater crystals synthesized from brine 280 ppt in treatment 1.

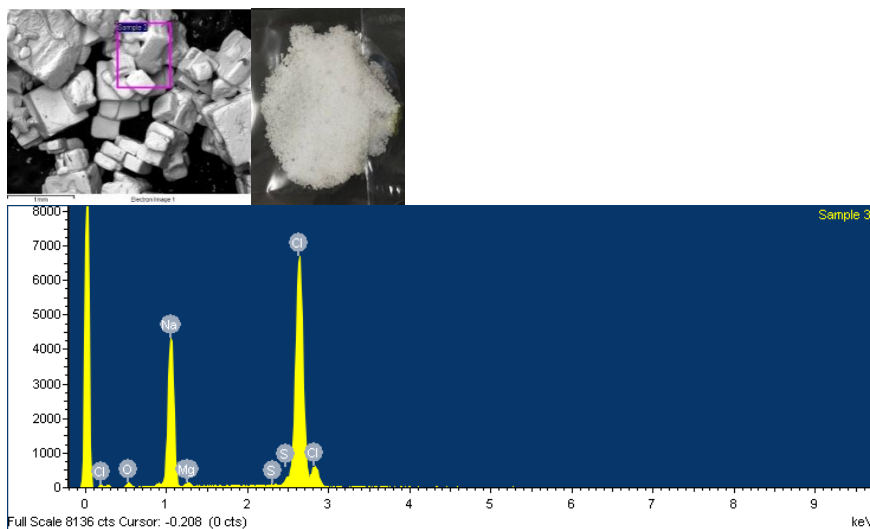


Figure 2 SEM images and XRD patterns of seawater crystals synthesized from flower of salt from the farm in treatment 2.

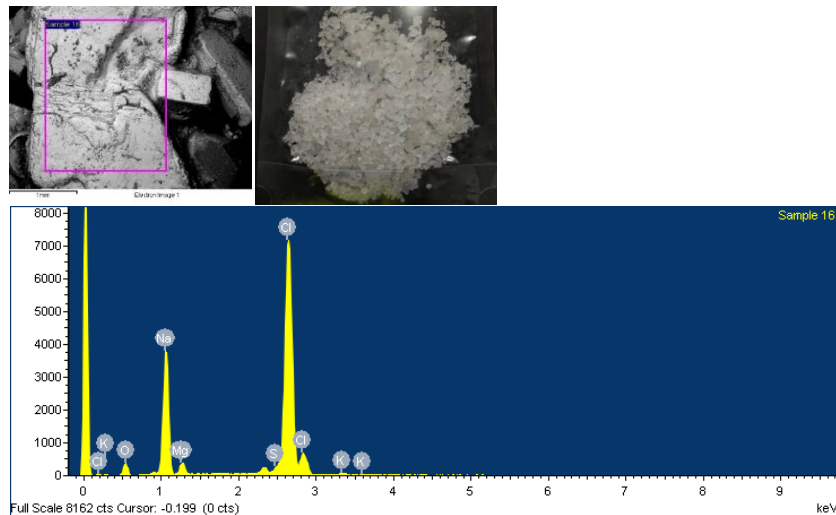


Figure 3 SEM images and XRD patterns of seawater crystals synthesized from brine 60 ppt in treatment 3.

2.2 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วยชุดการทดลอง 3 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ใช้น้ำเค็มเข้มข้นเกลือ 280 ส่วนในพันส่วน ผสมน้ำจืดเลี้ยง ชุดการทดลองที่ 2 ใช้น้ำจืดเกลือที่ได้จากนาดินของเกษตรกร ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำทะเลเทียมที่เตรียมจากน้ำเค็มเข้มข้นเกลือ 60 ส่วนในพันส่วน แล้วนำมาเร่งการตกผลึก

2.2.1 เตรียมพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมจากบ่อดินโดยติดต่อกับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง ฟาร์มบ้านทุ่งเพื่อ ตำบลบางครก อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ขนย้ายกุ้งจากบ่อดินมาพักในบ่อไฟเบอร์กลาสขนาด 2x3 เมตร จำนวน 270 ตัว โดยคัดขนาดเท่า ๆ กัน มาดำเนินการทดลองที่โรงเพาะพัก คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

2.2.2 เตรียมถังกลไฟเบอร์ขนาด 200 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.2 เมตร จำนวน 9 ถัง พร้อมเครื่องให้อากาศ นำน้ำเค็มที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วนซึ่งเป็นระดับความเค็มที่เกษตรกรใช้เลี้ยงในพื้นที่ที่ดำเนินการวิจัย ฆ่าเชื้อโดยใส่คลอรีนความเข้มข้น 30-50 ส่วนในล้านส่วน แล้วเติมน้ำเพื่อให้อากาศ ละลายสีน้ำและใส่จุลินทรีย์และปูนขาวเพื่อปรับสภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ปล่อยกุ้งลงบ่อ 8 ตัวต่อตารางเมตร โดยเป็นกุ้งขาวแวนนาไมจากบ่อเลี้ยงของเกษตรกรมาปล่อยในถังไฟเบอร์กลม กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 11.42 ± 2.21 กรัม ให้อากาศด้วยหัวทรายตลอดเวลาและทำระบบหมุนเวียนน้ำ วัดระดับน้ำที่มีการระเหยไปเพื่อเติมน้ำให้เท่าระดับเดิม จดปริมาณน้ำที่เติมเข้าในระบบเพื่อนำไปคำนวณต้นทุนการใช้น้ำ ดังสมการที่ 1 และ 2

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง (ลิตร/วัน) = (ปริมาณน้ำเริ่มต้น + ปริมาณน้ำที่เติมลงไป) / ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยง (วัน) 1

ต้นทุนการใช้น้ำ (บาท/วัน) = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยง (ลิตร/วัน) x ต้นทุนน้ำต่อหน่วย (บาท/ลิตร) 2

2.3 การเตรียมอาหารโดยใช้อาหารกุ้งเชิงพาณิชย์ที่มีขายตามท้องตลาด ประกอบด้วยปริมาณโปรตีนไม่ต่ำกว่า 36% ไขมันไม่มากกว่า 4% กาก 5% และความชื้นอยู่ที่ 12% โดยมีส่วนผสมของปลาหมึกป่น ปลาป่น กากถั่วเหลือง ถั่วเหลืองนึ่ง แปะสาลิ ปลาขี้ขาว น้ำมันปลา วิตามิน และเกลือแร่ ซึ่งอาหารนี้มีการใช้ในฟาร์มของเกษตรกรอยู่แล้ว ให้อาหารกุ้งทดลองวันละ 2 มื้อ เวลา 8.00 น. และ 16.00 น. ร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักตัว จดบันทึกปริมาณการกินอาหารของกุ้ง

2.4 วัดคุณภาพน้ำ ทุก ๆ สัปดาห์ วันละ 2 เวลา ได้แก่ 8.00 น. และ 16.00 น. วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่าง ไนโตรที่ แคลเซียมและแมกนีเซียม โพแทสเซียม และค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ด้วยชุดทดสอบ (test kit) ของบริษัท แอ็ดวานซ์ฟาร์มา จำกัด ส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำใช้เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) และวัดความเค็มด้วยเครื่องวัดความเค็ม (Salinometer, ผลิตโดย Shijiazhuang Sanli Grain Sorting Machinery Co., Ltd. Hebei, สาธารณรัฐประชาชนจีน)

2.5 ติดตามการเจริญเติบโตของกุ้งโดยชั่งน้ำหนัก นับจำนวนกุ้งที่ลอกคราบและกุ้งที่ตายเพื่อคำนวณหาอัตราการรอด นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดตาย (สมการที่ 3-7) ซึ่งสูตรการคำนวณมีดังต่อไปนี้

น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม) (Initial weight) = น้ำหนักกุ้ง
ขาววันแรกของการทดลอง/จำนวนตัวกุ้งขาว 3

น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) (Final weight) = น้ำหนักกุ้ง
ขาววันสุดท้ายของการทดลอง/จำนวนตัวกุ้งขาว 4

น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว) (weight gain) =
น้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ย/จำนวนวันที่เลี้ยง 5

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) (Feed conversion
ratio) = น้ำหนักของอาหารทั้งหมดที่กิน/น้ำหนักกุ้งที่
เพิ่มขึ้น 6

อัตราการรอดตาย (%) (Survival rate) = จำนวนวันที่
เลี้ยง/จำนวนกุ้งที่ปล่อย x 100 7

2.6 หลังการทดลองนำกุ้งในแต่ละชุดการทดลอง
ไปต้มเพื่อเทียบสี โดยเตรียมเนื้อกุ้งต้มแบ่งใส่ในถ้วยแล้วใช้
การพินิจเทียบค่าสีกับสมุด Munsell book เพื่อสังเกตสีของ
เปลือกกุ้งต้มเชิงคุณภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัส
ของกุ้งต้ม ในการประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส
แบบ 7-point hedonic scale ให้อาสาสมัครจำนวน 30 คน
ประเมินความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านลักษณะที่
ปรากฏ (appearance) ด้านสี (color) ด้านรสชาติ (taste)
ด้านกลิ่น (odor) ด้านเนื้อสัมผัส (texture) และความพึง
พอใจโดยรวม (overall satisfaction) มีเกณฑ์ในการให้
คะแนน 7 ระดับ คือ 1 = ไม่ชอบมาก, 2 = ไม่ชอบปาน
กลาง, 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบเล็กน้อย,
6 = ชอบปานกลาง และ 7 = ชอบมาก ทดสอบชิม โดยวาง
แผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block
Design (RCBD) แล้วบันทึกผล

2.3 การบันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูล

การติดตามการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนัก
ตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทำการนับจำนวนตัวกุ้งที่เหลือรอดแล้ว
นำไปคำนวณหาอัตราการรอด รวมระยะเวลาในการเลี้ยง 60
วัน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนัก
สุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และ
อัตราการรอดตาย และผลการประเมินประสาทสัมผัสโดย
การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance:
ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบ
ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test
(DMRT) โดยโปรแกรมคำนวณ R

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การผลิตน้ำทะเลเทียมและคุณสมบัติที่ส่งผลต่อคุณภาพ น้ำในการเลี้ยง และต้นทุนการผลิตน้ำทะเลเทียม

การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตน้ำทะเลเทียมใน
สูตรต่าง ๆ เมื่อได้คำนวณการใช้น้ำในการเลี้ยงกุ้งต่อรอบ
การผลิตพบว่าการใช้น้ำในแต่ละชุดการทดลอง 60 วัน
คิดเป็นปริมาตร 9 ลูกบาศก์เมตรต่อชุดการทดลองต่อรอบ
การผลิต ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณต้นทุนการใช้น้ำพบว่า น้ำ
ทะเลเทียมสูตรดอกเกลือในชุดการทดลองที่ 2 ใช้ดอกเกลือ
ที่ได้จากนาดินของเกษตรกร มีต้นทุนการผลิตและต้นทุน
ค่าน้ำต่ำที่สุดเนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนและ
ใช้พลังงานธรรมชาติอาศัยแสงแดดและแรงลมพัดให้น้ำมี
การระเหย ดอกเกลือจึงได้มาจากการช้อนผลึกเกลือที่ตาก
น้ำอยู่ในนาผ่ของเกษตรกรแล้วนำมาบรรจุกระสอบ พร้อม
ขนย้ายเพื่อนำไปใช้ได้เลย แต่น้ำทะเลเทียมสูตรที่ได้จาก
ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ต้องนำน้ำเค็มเข้มข้นจากนาเกลือ
มาผสมกับน้ำจืดแล้วนำมาผ่านกระบวนการเร่งการตกผลึก
โดยการต้มแล้วนำไปตากจนได้ผลึกแห้ง ซึ่งชุดควบคุม ใช้
น้ำเค็มเข้มข้นนาเกลือ 280 ส่วนในพันส่วน ผสมน้ำจืดเลี้ยง
ชุดการทดลองที่ 3 ใช้น้ำทะเลเทียมที่เตรียมจากน้ำเค็ม
เข้มข้นนาเกลือ 60 ส่วนในพันส่วน แล้วนำมาเร่งการตก
ผลึก ต้นทุนการผลิตน้ำทะเลเทียมชุดการทดลองที่ 1, 2
และ 3 จึงมีค่า 2.57, 1.8 และ 12 บาทต่อน้ำทะเลเทียม 1
กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนต้นทุนค่าน้ำที่ใช้ต่อรอบการผลิต
ของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 346.95, 243 และ
1,620 บาท ตามลำดับ

คุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่า
คุณสมบัติของน้ำทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ปกติและเหมาะสมต่อ
การเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม แม้จะระดับความเค็ม
ที่ 15 ส่วนในพันส่วนในการทดลองนี้อาจจะเป็นความเค็มที่
ต่ำกว่าการทดลองของ Keawla-iad and Pratoomchat
(2010) ที่พบว่าความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน เป็นระดับที่
เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาว เนื่องจากมีการควบคุมสรีระ
เคมีภายในร่างกายได้ดี แต่ก็พบว่าเกษตรกรในพื้นที่การ
วิจัยนิยมเลี้ยงที่ระดับความเค็มนี้ ส่วนอุณหภูมิตลอดการ
ทดลองในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่า มีอุณหภูมิอยู่
ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียสจึงเหมาะสมในการเลี้ยงกุ้ง
ขาวแวนนาไม โดยอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวน
นาไมที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 28-33 องศาเซลเซียส
(Laisutisan *et al.*, 2010) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ของน้ำอย่างรวดเร็วก็จะเกิดการช็อกเกร็งได้ มีลักษณะ
คล้ายเป็นตะคริว ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.8-8.2
ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (Charenphak *et al.*, 2020) ทำ
ให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดี ทั้งนี้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผล
ต่อการละลายของแร่ธาตุในดินโดยจะแปรผกผันกับการ
ละลายของแร่ธาตุ ถ้าความเป็นกรดเป็นกรดในน้ำลดลงการ
ละลายของแร่ธาตุจะเพิ่มขึ้น แต่การดูดซึมแร่ธาตุไปใช้ใน

ร่างกายของกุ้งขึ้นอยู่กับเมตาโบลิซึมของกุ้ง ความเป็นต่างของน้ำตลอดจนการทดลองในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีค่า 170-187 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยความเป็นต่างที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแคลเซียม แมกนีเซียม อัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียมในน้ำของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ได้แก่ 1:2.55, 1:2.71 และ 1:2.74 ตามลำดับ โพแทสเซียมอยู่ในช่วง 559-1,272 มิลลิกรัมต่อลิตร Suphawinyoo *et al.* (2013) ระบุว่าค่าแมกนีเซียมและโพแทสเซียมที่เหมาะสมควรมีค่า 400 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการเลี้ยงกุ้งขาวในระบบปิดโดยใช้น้ำทะเลเทียมแนะนำให้ มีค่าแคลเซียม 231-237 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียม 309-347 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียม 200-205 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องมีการเสริมแร่ธาตุตลอดการเลี้ยงเพื่อรักษาระดับปริมาณแร่ธาตุให้คงที่ (Sommart, 2009) ค่าไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0-0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยค่าของไนโตรเจนของน้ำในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม (Charenphak *et al.*, 2020) ค่าแอมโมเนียที่เหมาะสมไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Lin and Chen, 2001) หากมีค่าแอมโมเนียหรือไนโตรเจนสูงเกินไป จะดำเนินการลดค่าความเป็นกรดเป็นด่างหรือเจือจางน้ำเสียโดยการเติมน้ำที่มีคุณภาพดีเข้าไป (Lin and Chen,

2003) ค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง อยู่ในช่วง 5-6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง ไม่ต่ำกว่า 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Villareal *et al.*, 1994)

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาคุณลักษณะของเกลือทะเลที่ใช้ทำน้ำทะเลเทียมสูตรต่าง ๆ พบว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 เกลือทะเลที่ได้จากการดอกเกลือและน้ำเค็มเข้มข้น 60 ส่วนในพันส่วนมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกันแต่ชุดการทดลองที่ 3 มี แมกนีเซียม และโพแทสเซียมสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ส่วนชุดการทดลองที่ 1 มีโซเดียมสูงกว่าชุดการทดลองอื่น (ดังแสดงในตารางที่ 1) ด้วยองค์ประกอบที่แตกต่างนี้ แสดงให้เห็นว่า หากจะใช้น้ำบาดาลเค็มหรือน้ำจืดผสมกับน้ำดีเกลือหรือเกลือแกลบมักมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่มีความเข้มข้นต่ำตามระดับการลดความเค็มลงที่ใช้ในการเลี้ยงระบบความเค็มต่ำซึ่งส่งผลเสียต่อการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของกุ้ง แต่อาจใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเสริมเพื่อจัดการกับความไม่สมดุลของไอออนบวกได้ในการเตรียมน้ำทะเลเทียม ทั้งนี้ต้องเน้นสมดุลของแร่ธาตุที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้ง (Boyd *et al.*, 2007; Wudtisai and Boyd, 2011)

Table 2 Water quality parameters of the shrimp culture ponds under different treatments for 60 days (3 replicates).

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3
Temperature (°C)	32-37	32-37	30-37
Salinity(ppt)	14-15	14-17	15-17
pH	8-9	8-9	8-9
Nitrite-N (mg/l)	0-0.02	0-0.02	0-0.02
Alkalinity (mg/l)	119-170	119-170	119-170
Total ammonia-N (mg/l)	0-1	0-1	0-1
Calcium (mg/l)	160-280	120-280	160-280
Magnesium (mg/l)	400-650	350-650	450-650
Potassium (mg/l)	559-778	729-1,202	668-1,272
DO (mg/l)	5-6.5	5-6.5	5-6.5

3.2 ผลของการใช้น้ำทะเลเทียมสูตรต่าง ๆ กันที่มีต่อการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตรารอดและความถี่ในการลอกคราบของกุ้งขาวแวนนาไม

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการรอดของกุ้งในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 27.88 ± 3.23 กรัม และชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 30.38 ± 2.37 กรัม และชุดการทดลองที่ 3 มีน้ำหนักเฉลี่ย 30.87 ± 3.31 กรัม อัตราการรอดของกุ้งขาวแวนนาไมในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีอัตราการรอด 95.83, 91.67 และ 91.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาอัตราแลกเนื้อของชุดการทดลองที่ 1 สูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 คือ 1.79, 1.31 และ 1.25 ตามลำดับ ($p < 0.05$) (ดังตารางที่ 3) ทั้งนี้ การได้รับแร่ธาตุในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งในชุดการทดลองจะส่งผลทำให้กุ้งมีการเจริญเติบโตที่ดี อัตราแลกเนื้อต่ำและอัตราการรอดสูง การเพิ่มความหนาแน่นของกุ้งภายในบ่อก็จำเป็นต้องเสริมแร่ธาตุในปริมาณที่สูงขึ้นด้วยสอดคล้องกับการเลี้ยงกุ้งขาวโดยใช้น้ำบาดาลเค็มในสหรัฐอเมริกา ซึ่งเกษตรกรสูบน้ำขึ้นมาจากใต้ดิน (ความเค็มประมาณ 4 ส่วนในพันส่วน) ในเดือนมีนาคมและ

เมษายนของทุกปี เกษตรกรจะนำกุ้งขาวแปซิฟิก *L. vannamei* จากฟาร์มกุ้ง Harlingen ใน รัฐเท็กซัส และแอลบามาจากระบบปรับปรุงพันธุ์กุ้ง รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกามาเลี้ยงในน้ำบาดาลเค็มและเมื่อเสริมด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์เกรดปุ๋ย ($\approx 50\%$ K) และโพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟตหรือ KMag® (Mosaic Company, Plymouth, MN, USA) (17.8% K และ 10.5% Mg) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมให้เป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแมกนีเซียมถึง 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติทั่วไปในการเพาะเลี้ยงกุ้งในแอลบามาจะทำให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นเฉลี่ยจาก 24 ตัวต่อตารางเมตรขึ้นมาที่ความหนาแน่น 27 ตัวต่อตารางเมตรได้สอดคล้องกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดินในจังหวัดสมุทรสาคร จะเชิงเตรา ปราจีนบุรี และนครนายก ที่เลี้ยงกุ้งด้วยระบบความเค็มต่ำ 1-5 ส่วนในพันส่วน ที่นิยมนำน้ำเค็มจากนาเกลือหรือน้ำบาดาลเค็มมาผสมน้ำจืดในการเลี้ยงเสริมด้วยโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเนื่องจากแร่ธาตุนี้มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่พบในน้ำทะเลซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้ง (Boyd *et al.*, 2007; Wudtisarn and Boyd, 2011; Roy *et al.*, 2007)

Table 3 Average initial weight, average final weight, weight gain, survival rate and FCR of *L. vannamei* nursed under different treatments for 60 days (3 replicates).

Treatment	average initial weight (g/shrimp)	average final weight (g/shrimp)	weight gain (g/shrimp)	survival rate (%)	FCR
1	12.15 ± 2.49^a	27.88 ± 3.23^a	18.73 ± 0.61^a	95.83 ± 7.22^a	1.79^b
2	11.06 ± 2.26^a	30.38 ± 2.37^a	19.31 ± 0.51^a	91.67 ± 7.22^a	1.31^a
3	11.40 ± 2.06^a	30.87 ± 3.31^a	19.46 ± 0.46^a	91.67 ± 7.22^a	1.25^a
P-Value	0.538 ^{ns}	0.079 ^{ns}	0.287 ^{ns}	0.729 ^{ns}	0.0001 ^{**}

Note: Mean value of 3 replicate measurements $\pm$ standard deviation

^{ns} = no significant difference ($P > 0.05$), ^{**} = highly significant difference ($P < 0.01$) and Means within a column followed by the same letter are not significant different at $P < 0.01$ by DMRT.

ความถี่ในการลอกคราบของกุ้งขาวแวนนาไมที่พบในบ่อเลี้ยงพบว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีความถี่ในการลอกคราบมากกว่าชุดการทดลองที่ 1 (ดังแสดงในภาพที่ 4) อาจจะเนื่องมาจากชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีการเสริมแร่ธาตุลงในน้ำทะเลเทียมทั้ง 2 สูตร ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการเลี้ยงแบบไม่ได้มีการเสริมแร่ธาตุ สอดคล้องกับ Pratoomchat and Sommart (2000) พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยเสริมแร่ธาตุมีการเจริญเติบโตดีกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้งที่มีความหนาแน่นสูงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องเพิ่มปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นจึงจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งที่ดีทั้งนี้ความถี่ในการเลี้ยงต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมในช่วง 25-35 ส่วนในพันส่วน โดยมีอัตราส่วนของ Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Na:K, Cl:K และ Cl:Na ในน้ำเท่ากับ 5.1:1, 6.5:1, 8.8:1, 21:1, 30:1 และ 1.4:1 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhu *et al.* (2004); Pan *et al.* (2006) พบว่า การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ระดับความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วนโดยมี Na : K เท่ากับ 20:1 ทำให้ร้อยละของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Pratoomchat *et al.* (2011) เสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ความยาวเฉลี่ย 8.9 ± 0.17 กรัม ที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ส่วนในพันส่วน (T) โดยคำนึงถึงอัตราส่วนของแร่ธาตุ และกลุ่ม

ควบคุมเชิงลบ (ไม่เสริมแร่ธาตุ, NC) และกลุ่มควบคุมเชิงบวกที่เสริม NaCl (PC) ประเมินความเข้มข้นของ Na, K, Mg, Ca, Cl และ P และอัตราส่วนของแร่ธาตุเหล่านี้ในเลือดตับ และเปลือกกุ้งทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากผลของจุดสมดุลของแร่ธาตุในแต่ละความเค็มนั้นย่อมแตกต่างกัน แสดงให้เห็นได้จากผลความเข้มข้นของ Na, K, Ca, Cl และ P ในพลาสมาของกุ้งที่เลี้ยงในแต่ละความเค็มย่อมแตกต่างกัน ยกเว้นความเข้มข้นของ K และ Cl ในชุดการทดลองที่เสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่เสริมโซเดียมคลอไรด์และชุดการทดลองที่ไม่เสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน ส่วนในโครงสร้างเปลือกของกุ้งที่ความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน พบว่า K, Mg และ Ca ในชุดการทดลองที่เสริมโซเดียมคลอไรด์มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับ Suphawinyoo *et al.* (2013) ที่อนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามด้วยการเสริมแมกนีเซียมโพแทสเซียมระบุว่าหากการเสริมแร่ธาตุที่มากจนเกินจุดสมดุลจะส่งผลเสียต่อกุ้งที่เลี้ยงทั้งในด้านการเจริญเติบโตและการลอกคราบ การเสริมแร่ธาตุจึงต้องพิจารณาความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงและอัตราความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยงในระบบด้วย (Keawla-iad and Pratoomchat, 2010) อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยเสริมแร่ธาตุมีการลอกคราบถี่กว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุ (ดังแสดงในภาพที่ 4)

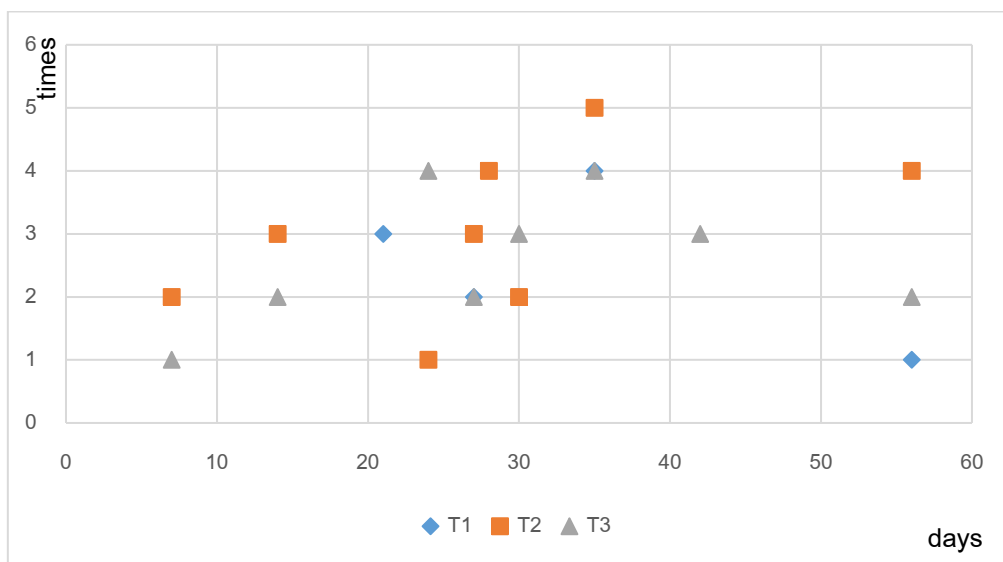


Figure 4 Shrimp molting frequency under different treatments for 60 days.

Note: T1 = treatment 1, T2 = treatment 2, T3 = treatment 3

Table 4 Average liking scores of acceptability tests of shrimp from different treatments.

Sensory attribute	appearance	odor	taste	texture	overall
treatment 1	6.67±0.61 ^a	6.50±0.51 ^a	6.60±0.56 ^a	6.60±0.62 ^a	6.47±0.63 ^a
treatment 2	6.50±0.51 ^a	6.73±0.45 ^a	6.57±0.50 ^a	6.60±0.50 ^a	6.63±0.49 ^a
treatment 3	6.60±0.50 ^a	6.63±0.49 ^a	6.60±0.50 ^a	6.73±0.45 ^a	6.77±0.43 ^a

Note: Mean value of 3 replicate measurements ± standard deviation and means within a column followed by the same letter are not significant different at $P < 0.05$ by DMRT.

1-Dislike Extremely to 7-Like Extremely

3.3. การเทียบสีลำตัวกุ้งและการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการเปรียบเทียบสีของกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละชุดการทดลองโดยนำกุ้งไปต้มเป็นเวลา 2 นาทีจากนั้นนำมาเทียบกับสมุดวัดสีของมัลเชลล์พบว่ากุ้งชุดการทดลองที่ 1 มีสีส้มเข้มรหัส 5YR 5/12 ส่วนกุ้งชุดการทดลองที่ 2 และ 3 มีสีส้ม รหัส 5YR 7/6 และ 5YR 6/8 ตามลำดับ การทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้อาสาสมัคร จำนวน 30 คน การทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของกุ้ง ให้คะแนนโดยใช้ facial hedonic scale 7 ระดับ ผลการการให้คะแนนเฉลี่ยสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 4)

4. สรุป

ความเค็มและองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเลี้ยงซึ่งมีความสมดุลเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมนั้นเป็นข้อสำคัญของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิด โดยผลการทดลองในทุกชุดการทดลองชี้ให้เห็นว่า แม้ว่าการเจริญเติบโตและการลอกคราบของกุ้งในทุกชุดการทดลองจะเป็นไปโดยปกติในช่วงการเลี้ยง 60 วันจนกระทั่งได้ผลผลิตกุ้งขนาดตลาดคือประมาณ 30 ตัวต่อกิโลกรัม และคุณภาพของเนื้อกุ้งเป็นที่ยอมรับเมื่อทดสอบชิม แต่การเสริมแร่ธาตุตามอัตราส่วนในน้ำที่มีความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน นั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำช่วยสนับสนุนให้กุ้งขาวสร้างจุดสมดุลออสโมติกอย่างมีประสิทธิภาพ กุ้งที่เลี้ยงด้วยน้ำผสมดอกเกลือและน้ำทะเลเทียมจากน้ำเค็มเข้มข้นมีอัตราแลกเนื้อดีกว่าการไม่เสริมแร่ธาตุ อย่างไรก็ตาม การเสริมแร่ธาตุลงไปจำเป็นจะต้องรักษาปริมาณแร่ธาตุให้เพียงพอต่อความต้องการของกุ้งและต้องมีส่วนผสมแร่ธาตุที่สม่ำเสมอตลอดการเลี้ยงด้วย โดยการพิจารณาความเค็มของน้ำที่ใช้เลี้ยงและอัตราความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยงในระบบจึงจะทำให้ได้ผลผลิตที่ดีทั้งคุณภาพและปริมาณผลผลิต เมื่อนำผลผลิตกุ้งไปผ่านการทดสอบทางประสาทสัมผัสต้องให้

คะแนนเฉลี่ยสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมไม่แตกต่างกัน ดังนั้น กุ้งที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทะเลเทียม ดอกเกลือและน้ำเค็มเข้มข้นในนาเกลือมีการเจริญเติบโตและอัตราการที่ดี ตลอดจนคุณภาพของผลผลิตกุ้งที่ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้น้ำทะเลเทียมที่ผลิตจากน้ำเค็มเข้มข้นจากนาเกลือได้ แต่หากพิจารณาในด้านต้นทุนและปริมาณการใช้นาเกลือเลี้ยงตามปกติ จะพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีต้นทุนค่าน้ำเค็มต่ำที่สุด อีกทั้งการใช้น้ำทะเลเทียมแทนการใช้น้ำเค็มเข้มข้นจากนาเกลือมาหมุนเวียนน้ำระบบปิดทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำเค็มลงได้ 6 เท่า แม้ว่าการเลี้ยงกุ้งขาวในระบบปิดในการทดลองนี้จะให้ผลผลิตต่ำกว่าการเลี้ยงของเกษตรกรในบ่อดินโดยทั่วไป อันเนื่องมาจากการได้รับแร่ธาตุในปริมาณต่ำกว่าความต้องการร่างกายกุ้งในระบบการเลี้ยงอื่น แต่ก็เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์รูปแบบใหม่ในการเตรียมน้ำเค็มเข้มข้นจากนาเกลือเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดต่อไป

5. ข้อเสนอแนะ

การทดลองในขั้นตอนต่อไปของการพัฒนาสู่การเลี้ยงระบบปิดแบบรักษาสสมดุลเกลือแร่ด้วยน้ำทะเลเทียมควรมีระบบการตรวจติดตามองค์ประกอบเกลือแร่ในระบบแบบอัตโนมัติหรือระบบโรงเรือนอัจฉริยะ เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมโดยธรรมชาติเป็นสัตว์ทะเลที่มีการลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโตและมีความต้องการเกลือแร่เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและเจริญเติบโตตลอดช่วงอายุการเลี้ยง รวมถึงการดูแลระบบการเลี้ยงโดยคำนึงถึงสมดุลเกลือแร่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุปสงค์และอุปทานเกลือแร่ที่มีในระบบการเลี้ยงโดยรวม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งในอำเภอบ้านแหลมและอำเภอยะอำ จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมเพื่อใช้ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีงบประมาณ 2564 ภายใต้

โครงการการบริหารจัดการศูนย์เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (AIC) เพชรบุรี กิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกลือทะเล

การดำเนินการทดลองในครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีแล้ว เลขทะเบียน ID# IACUC PBRU 131162 008

7. เอกสารอ้างอิง

- Armenta-Bojórquez, A.D., Valenzuela-Castañeda, A.R., Fitzsimmons, K., López-Alvarez, E.S., Rodríguez-Quiroz, G. and Valenzuela-Quirón, W. 2021. Pacific white shrimp and tomato production using water effluents and salinity-tolerant grafted plants in an integrated aquaponic production system. **Journal of Cleaner Production** 278: 124064.
- Boyd, C.A., Boyd, C.E. and Rouse, D.B. 2007. Potassium budget for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. **Aquacultural Engineering** 36(1): 45-50.
- Charenphak, V., Chanaphai, B., Reuangthong, J., Prairarin, K. and Ong-Art, K. 2020. Study on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boon, 1931) for brood stock breeding program. **E-thai fisheries gazette** 3(4): 49-67. (in Thai)
- Citarasu, T., Babu, M.M. and Yilmaz, E. 2022. Alternative medications in shrimp health management for improved production. **Aquaculture** 561: 738695.
- Keawla-iad, N. and Pratoomchat, B. 2010. Proportional supplementation of minerals in cultured medium on growth, survival, food conversion ratio, molt frequency and size variation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), pp. 83-91. **In 48th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Laisutisan, K., Limsuwan, C., Wongmaneeprateep, S., Prasertsri, S., Limhang, K., Wiriapattanasub, P. and Sitthimonton, S. 2010. Effect of temperature during postlarval rearing of *Litopenaeus vannamei* on growth and survival rate, pp. 322-328. **In 48th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Lin, Y.C. and Chen, J.C. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 259(1): 109-119.
- Lin, Y.C. and Chen, J.C. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture** 224(1-4): 193-201.
- Lin, Y., Jing, S., Lee, D., Chang, Y., Chen, Y. and Shih, K. 2005. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution** 134(3): 411-421.
- Moura, P., Neto, I.A., Brandão, H., Furtado, P., Poersch, L., Wasielesky, J.W. 2023. Effects of magnesium reduction in artificial low-salinity water on the growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. **Aquaculture** 577: 739956.
- Nehru, E., Chandrasekhara Rao, A., Pamanna, D. and Priyadarshini, N., Anil Kumar, P. and Raveendra, M. 2018. Effect of dietary minerals supplementation on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in low salinity water. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 7(3): 3040-3049.
- Pan, L.Q., Luan, Z.H. and Jin, C.X. 2006. Effects of Na⁺/K⁺ and Mg⁺/Ca⁺ ratios in saline ground waters on Na⁺ -K⁺ -ATPase activity, survival and growth of *Marsupenaeus japonicus* postlarvae. **Aquaculture** 261: 1396-1402.
- Pratoomchat, B. and Sommart, S. 2000. Effect of salinity on biomineralization of White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*), pp. 73-82. **In Kasetsart University Annual Conference: Fisheries 48th**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Pratoomchat, B., Hongsapruet, K. and Keawla-iad, N. 2011. **Research Report on Proportional supplementaion of minerals in cultured**

- medium on physicochemical of *Litopenaeus vannamei* shrimp.** Burapha University, Chonburi. (in Thai)
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P. and Henry, R.P. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. **Aquaculture** 262: 461-469.
- Serrano, L., Towle, D.W., Charmantier, G. and Spanings-Pierrot, C. 2007. Expression of Na⁺/K⁺ -ATPase α -subunit mRNA during embryonic development of the crayfish *Astacus leptodactylus*. **Comparative Biochemistry and Physiology - Part D: Genomics and Proteomics**. 2(2): 126-134.
- Sirithanawong, B. and Thakleawphan, C. 2019. **The use of dried sea water and epsom salt from the wisdom of Thai sea salt farming for of White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture and Giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) rearing.** Available Source: http://research.pbru.ac.th/researchexpo2017/docs/salt/1_1_salt.pdf, May 1, 2022. (in Thai)
- Sommart, S. 2009. Biomineralization of *Litopenaeus vannamei* and application of minerals supplementation in commercial larviculture and grow-out systems. Master of Science (Aquatic Science), Burapha University. (in Thai)
- Suphawinyoo, K., Savangarrom, Y. and Kaewchada, N. 2013. **Research Report on Addition of potassium magnesium in Giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in water reduce.** Maejo university, Chumphon. (in Thai)
- Thammanon, W. and Aussavamas, D. 2012. **Archaeometric study of ancient pottery from Ban Dee Kilns, Pattani province.** Prince of Songkhla University Pattani Campus research report; Pattani. Available Source: https://soreda.oas.psu.ac.th/show_detail.php?research_id=944, April 1, 2022. (in Thai)
- Villarreal, H., Hinojosa, P. and Naranjo, J. 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. **Comparative Biochemistry and Physiology** 108A: 331-336.
- Wang, W.N., Wangb, A.L., Wanga, D.M., Wanga, L., Liua, Y. and Sunb, R.Y. 2003. Calcium, phosphorus and adenylate levels and Na⁺ – K⁺ -ATPase activities of prawn, *Macrobrachium nipponense*, during the moult cycle. **Comparative Biochemistry and Physiology** 134: 297-305.
- Wudtisin, I. and Boyd, C.E. 2011. Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. **Journal of the World Aquaculture Society** 42(6): 766-777.
- Zhu, C., Dong, S., Wang, F. and Huang, G. 2004. Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture** 234(1-4): 485-496.