

การใช้วัสดุพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ

Use of Local Materials for Water Quality Improvement in

Black Tiger Shrimp Nursery Pond

สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์^{1*} รัตติกานต์ เนียมจันทร์¹ ภาวิณี พัฒนจันทร์²
บัณฑิต ตีรชูลี² ธาณี ดาวเรือง² ศิววรรณ พูลพันธุ์³ และ จิรทยา พันธุ์สุข⁴

Soydoa Vinitnantharat^{1}, Rattikan Neamchan¹, Pavinee Pattanachan²,
Sivawan Phoolphundh³ and Jirataya Pansuk⁴*

¹สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹Division of Environmental Technology, School of Energy, Environment and Materials,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

²สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

²Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
10140, Thailand

³ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

³Department of Microbiology, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
10140, Thailand

⁴คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

⁴Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170, Thailand

*corresponding author: Email: soydoa.vin@kmutt.ac.th

(Received: August 22, 2019; Accepted: November 15, 2019)

Abstract: This research studies the use of local materials, namely cockle shell, mussel shell, mangrove charcoal and mangrove bark from Samut Songkhram province for the adsorption and desorption of nutrients in the lab-scale study. The 300 g of each local material was placed in the 15 L laboratory scale-bucket to observe the nutrients concentration for 15 days of operation in the natural brackish water. Local materials application with marine shrimp during the nursery period in the aquaculture pond was also investigated. Results from lab-scale experiment revealed that only mussel shell and mangrove bark could adsorb ammonia on the first day, and subsequently all local materials slowly released nutrients in the brackish water. The cockle shell, mussel shell, mangrove charcoal and mangrove bark released inorganic nitrogen and ortho-phosphate at the ratios of 10:1, 8:1, 4.6:1, and 1:2, respectively. Application of mangrove charcoal and mussel shell at the amount of 10.8 and 2 kg, respectively in the 2 m² net cage for nursery of

2,500 black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) gave the significant higher shrimp length than without local materials at 26 % and heavy metals also can be adsorbed.

Keywords: Aquaculture, charcoal, heavy metal, nutrients, shrimp

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุพื้นถิ่นได้แก่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ ถ่านไม้โกงกาง และเปลือกไม้โกงกาง จาก จ.สมุทรสงคราม เพื่อศึกษาการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหารในระดับห้องปฏิบัติการ ด้วยการใส่วัสดุพื้นถิ่น 300 กรัม ใส่ในถังขนาด 15 ลิตรบรรจุน้ำกร่อยธรรมชาติ สังเกตความเข้มข้นของธาตุอาหาร เป็นระยะเวลา 5 วัน และศึกษาการใช้วัสดุพื้นถิ่นร่วมกับการอนุบาลกุ้งทะเลในบ่อเพาะเลี้ยง ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่า มีเพียงเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกไม้โกงกางที่ดูดซับแอมโมเนียได้ในช่วงวันแรก จากนั้นวัสดุพื้นถิ่นทั้ง 4 ชนิดจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา โดยเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ ถ่านไม้โกงกาง และเปลือกไม้โกงกางปลดปล่อยธาตุอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนต่อฟอสเฟต เท่ากับ 10:1, 8:1, 4.6:1 และ 1:2 ตามลำดับ เมื่อนำถ่านไม้โกงกาง และเปลือกหอยแมลงภู่ ปริมาณ 10.8 และ 2 กิโลกรัม มาใช้ร่วมในการอนุบาลลูกกุ้งในกระชัง 2,500 ตัวในพื้นที่ 2 ตารางเมตร พบว่า การใช้วัสดุพื้นถิ่นดังกล่าว ช่วยเพิ่มความยาวเฉลี่ยกุ้งได้ โดยมีความยาวมากกว่าลูกกุ้งในกระชังควบคุมที่ไม่ใช้วัสดุพื้นถิ่นประมาณร้อยละ 26 และสามารถช่วยดูดซับโลหะหนักในน้ำได้

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ถ่านไม้ โลหะหนัก ธาตุอาหาร กุ้ง

คำนำ

จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นเมืองสามน้ำ ได้แก่ น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ทำให้มีการใช้น้ำในการทำการเกษตรได้หลากหลาย โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล มีการทำการเกษตรที่ต้องอาศัยแหล่งน้ำจืดในการเพาะปลูกพืชผล และน้ำกร่อยในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในปัจจุบันเมืองเริ่มมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้แหล่งน้ำที่ใช้ในการทำการเกษตรเริ่มมีการปนเปื้อนน้ำเสียจากชุมชน ทำให้ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งกุ้ง ปู และปลา มีขนาดเล็ก และให้ปริมาณไม่สูง เกษตรกรจำเป็นต้องปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อการเพาะเลี้ยง ประกอบกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาเป็นเวลานาน ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในดินสูงขึ้น (Priyadarsani and Abraham, 2016) ขณะที่แร่ธาตุต่าง ๆ จะสูญเสียไปเนื่องจากถูกดินดูดซับ และการ

เก็บเกี่ยวสัตว์น้ำออกจากบ่อ จึงจำเป็นที่จะต้องคอยตรวจสอบแร่ธาตุเพื่อควบคุมหรือเติมลงบ่อ โดยแร่ธาตุที่สำคัญคือ แคลเซียม และแมกนีเซียม เนื่องจากการลอกคราบของกุ้งจะมีการใช้แคลเซียม และแมกนีเซียม จึงมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของกุ้ง จากการตรวจคุณภาพของตะกอนดินชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน พบปริมาณโครเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 50, 23, 20 และ 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีค่าสูงกว่าระดับปกติ (Qiao *et al.*, 2015) แสดงถึงมีการปนเปื้อนโลหะหนักจากแหล่งน้ำลงสู่อ่าวไทย จึงมีความเสี่ยงในการนำแหล่งน้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชุมชนยี่สาร อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม เป็นชุมชนที่มีการเลี้ยงกุ้งทะเล หอยแครง หอยแมลงภู่ มาเป็นเวลานานแล้ว และยังเป็นแหล่งผลิตถ่านจากไม้โกงกางที่มีคุณภาพ โดยการผลิตถ่านไม้จะมีการปอกเปลือกออกก่อนนำไป

เข้าเตาเผา ทำให้มีปริมาณเปลือกไม้ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จำนวนมาก และถ่านที่ผลิตได้มีหลายขนาด รวมถึงเศษถ่านที่หัก โดยทั่วไปถ่านมีองค์ประกอบทางเคมีโดยหลักคือ คาร์บอน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และโปตัสเซียม และมีรูพรุนขนาดเล็ก มีผิวภายนอกเป็นลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) มีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่รายงานเกี่ยวกับการใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านชีวภาพในการเพาะเลี้ยงกุ้งน้ำ เช่น Boonanuntanasarn *et al.* (2014) ได้ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 10 กรัมต่อลิตรกรัมแห้งของอาหาร ก่อนเก็บปลานิล 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าสามารถกรองกลิ่น geosmin ได้ และไม่พบปัญหาการเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของปลาทานองเดียวกับการศึกษาของ Michael *et al.* (2017) ที่ใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ในปริมาณ 10-40 กรัมต่อลิตรกรัมน้ำหนักแห้ง เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าน้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาการปลดปล่อยและดูดซับธาตุอาหารของวัสดุพื้นถิ่น ได้แก่ เปลือกไม้โกงกาง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และถ่านไม้โกงกาง และการคัดเลือกวัสดุพื้นถิ่นเพื่อนำไปใช้ทดสอบในการเพาะเลี้ยงกุ้งในสภาพแวดล้อมธรรมชาติเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในพื้นที่บ่อเพาะเลี้ยงในสภาวะธรรมชาติ โดยใช้วัสดุพื้นถิ่นในพื้นที่ชุมชนยี่สาร อ. อัมพวา จ. สมุทรสงคราม เพื่อ

ศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชที่ปลดปล่อยและดูดซับจากวัสดุพื้นถิ่นในห้องปฏิบัติการ และคัดเลือกชนิดของวัสดุพื้นถิ่นเพื่อนำไปทดสอบจริงในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อธรรมชาติ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

วัสดุพื้นถิ่นที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการเก็บแบบสุ่มในพื้นที่ชุมชนยี่สาร อ. อัมพวา จ. สมุทรสงคราม โดยเก็บเปลือกหอยแครง และหอยแมลงภู่ จากพื้นที่ที่ได้ทิ้งเปลือกหอยในลานตากแดด นำมาล้างให้สะอาด ตากแดดให้แห้งแล้วจึงเก็บไว้ในภาชนะที่แห้ง สำหรับเปลือกไม้โกงกาง และเศษถ่านไม้ นำมาจากบริเวณพื้นที่โดยรอบเตาเผาถ่าน และเก็บไว้ในภาชนะที่แห้งสำหรับใช้ศึกษาทดลองตลอดงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

(ก) ถังพลาสติก ขนาด 40 ลิตร จำนวน 5 ถัง บรรจุน้ำกร่อยธรรมชาติปริมาตร 15 ลิตร สำหรับการทดลองการดูดซับและคายซับของวัสดุพื้นถิ่น 4 ถัง และไม้ไผ่วัสดุพื้นถิ่น 1 ถัง

(ข) วัสดุพื้นถิ่นได้แก่ เศษถ่านไม้โกงกาง เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกไม้โกงกาง เลือกขนาด 2-5 ซม. โดยเปลือกหอยแมลงภู่ จะทำการบดเล็กน้อยเพื่อให้มีขนาด 2-5 เซนติเมตร นำวัสดุพื้นถิ่นปริมาณ 300 กรัม บรรจุในเครื่องจักสานชะลอมก้านมะพร้าวของกลุ่มแม่บ้านทำเครื่องจักสาน อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม

(ค) ท่อพลาสติก PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 ซม. ยาว 20 เซนติเมตร จำนวน 4 ชุด นำวัสดุพื้นถิ่นที่บรรจุในเครื่องจักสานแล้วในข้อ (ข)

ใส่ในท่อ PVC ดังกล่าว แล้วนำไปแขวนในถังพลาสติก 40 ลิตร ในข้อ (ก)

(ง) ป้อนน้ำหมุนเวียนขนาดเล็ก สำหรับหมุนเวียนน้ำให้ไหลผ่านท่อ PVC ที่บรรจุวัสดุพื้นถิ่นแล้ว ตลอดระยะเวลาการทดลอง

2. การทดลองในพื้นที่บ่อนูบาลกุ้งกุลาดำ ประกอบด้วย

(ก) กระชังอนุบาลกุ้ง 2 ชุด ทำด้วยอวนฟ้า ขนาด 2 ตารางเมตร (2 x 1 เมตร) โดยขึ้นกรอบกระชังด้วยโครงไม้ไผ่ 6 ลำ และเพิ่มความแข็งแรงโดยรอบด้านบนและกลางโครง ซึ่งอวนฟ้าโดยรอบ และกดขอบอวนฟ้าให้ติดกับพื้นบ่อเพาะเลี้ยง ชุดที่ 1 ไม่มีการแขวนวัสดุพื้นถิ่น และชุดที่ 2 มีการแขวนวัสดุพื้นถิ่น และฝังในพื้นบ่อ

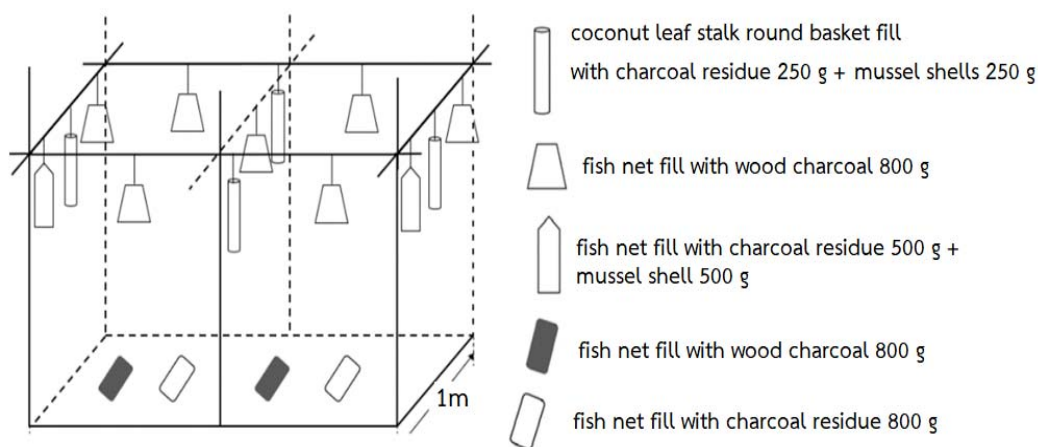


Figure 1. Local materials configuration in the net cage

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาการดูดซับและคายซับดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 5 วัน เก็บตัวอย่างน้ำ วันละ 1 ครั้ง เวลา 9.30 น. โดยคนตัวอย่างน้ำในถังทดลองให้เข้ากันแล้วตรวจวัดคุณภาพน้ำทันที ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจนละลาย

(ข) ลูกพันธุ์กุ้งกุลาดำ ระยะ post larva อายุ 15 วัน (PL-15) จำนวน ประมาณ 2,500 ตัว

(ค) ชุดกรองวัสดุพื้นถิ่น ประกอบด้วย ชนิดแขวนในกระชังได้แก่ (1) จักสานชะลอมใส่เศษถ่านไม้ผสมเปลือกหอย 4 ถัง บรรจุวัสดุพื้นถิ่นอย่างละ 250 กรัม (2) ถังอวนตาข่ายบรรจุเศษถ่านไม้ผสมเปลือกหอย 2 ถัง บรรจุวัสดุพื้นถิ่นอย่างละ 500 กรัม (3) ถังอวนตาข่ายบรรจุถ่านไม้ 7 ถัง บรรจุอย่างละ 800 กรัม และชนิดฝังดิน ได้แก่ (1) ถังอวนถ่านไม้ 2 ถัง บรรจุอย่างละ 800 กรัม (2) ถังอวนเศษถ่านไม้ 2 ถัง บรรจุอย่างละ 800 กรัม รูปแบบการจัดวางวัสดุพื้นถิ่นในกระชังแสดงใน Figure 1

น้ำ (dissolved oxygen, DO) ความเค็ม (salinity) การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) และ รังควัตถุ (คลอโรฟิลล์เอและไฟโคอีทรีน) ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบหลายตัวแปรยี่ห้อ YSI รุ่น EXO1 และแบ่งตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติก แช่เย็นในภาชนะบรรจุน้ำแข็งเพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ที่

ห้องปฏิบัติการวิจัยการจัดการทรัพยากรฐานชุมชน
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ สำหรับ
การตรวจวัดค่าความเป็นต่าง (วิธีไทเทรตชัน)
แอมโมเนีย (วิธี phenate) ไนโตร (วิธี
diazotization) ไนเตรท (วิธี salicylate) และออร์โธ
ฟอสฟอรัส (วิธี ascorbic acid) และตัวอย่างส่วน
หนึ่งเก็บรักษาด้วยกรดซัลฟูริกให้ค่าความเป็นกรด-
ต่างต่ำกว่า 2 เพื่อตรวจวัดโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี
(zinc, Zn) ทองแดง (copper, Cu) ตะกั่ว (lead,
Pb) แคดเมียม (cadmium, Cd) โครเมียม
(chromium, Cr) และนิกเกิล (nickel, Ni) ตรวจ
วิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic Absorption
Spectroscopy ที่ห้องปฏิบัติการและคลินิก
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา
คำนวณหาปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (ผลรวมของ
แอมโมเนีย ไนเตรท และไนเตรท) และฟอสฟอรัสที่
ปลดปล่อยจากวัสดุพื้นดินแต่ละชนิด ดังสมการที่ (1)

$$\text{การปลดปล่อยธาตุอาหารแต่ละชนิด (มิลลิกรัม/กรัม)} = V(A-B)/X \quad (1)$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่วัด
ได้ในถังที่มีวัสดุพื้นดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่
วัดได้ในถังควบคุม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรน้ำในถังทดลอง (ลิตร)

X = น้ำหนักวัสดุพื้นดินในชุดกรอง

การทดลองในกระชัง ประกอบด้วยชุด
ทดลองมีจำนวน 2 ชุด ชุดกระชังทดลองที่ใส่ชุดกรอง
วัสดุพื้นดิน และชุดกระชังควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุ
พื้นดินภายในกระชัง ศึกษาผลอัตราการเจริญเติบโต

ของลูกกุ้ง โดยเปรียบเทียบในรูปของร้อยละการ
เจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน ด้วยการวัดความยาวเฉลี่ย
ของลูกกุ้งจำนวน 20 ตัว ในกระชังที่ใส่ชุดกรองวัสดุ
พื้นดิน และกระชังควบคุม โดยอัตราการเจริญเติบโต
จำเพาะ (ร้อยละต่อวัน) = $100 \times [\ln \text{ ค่าเฉลี่ยความยาวของกุ้ง } (T_2) - \ln \text{ ค่าเฉลี่ยความยาวของกุ้ง } (T_1)] / \text{ระยะเวลา}$ ทั้งนี้ในระหว่างการอนุบาลไม่มีการ
ให้อาหารเสริม และเก็บตัวอย่างน้ำในกระชังบริเวณ
ขอบกระชัง และกลางกระชัง แล้วนำมาผสมกันเป็น
ตัวอย่างเดียว ทุก ๆ 11, 22 และ 33 วัน เพื่อนำไป
ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ต่าง อุณหภูมิ ค่าออกซิเจน
ละลายน้ำ การนำไฟฟ้า ความขุ่น แอมโมเนีย ไน
เตรท ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต และโลหะหนัก ด้วย
วิธีเดียวกันกับการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ และ
ตรวจวัดความขุ่นด้วยเครื่อง Photo Flex Turb
(WTW)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ย
และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความ
แตกต่างของชุดข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ t-test

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหาร

ค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำของถัง
กรองจำลองในวันที่ 5 แสดงดัง Table 1 พบว่า
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเค็ม และค่า
ความเป็นต่าง มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทั้ง 5 ชุด
ทดลอง ค่าความเป็นกรดต่างของชุดควบคุมและชุด
ทดลองเปลือกหอยแครง มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากชุด
ทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
($P \leq 0.05$) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและไฟโคอีทรีน

ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในชุดควบคุม มีความแตกต่างจากชุดทดลองเปลือกหอยแครง และชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ 0.05 ($P \leq 0.05$) เมื่อคิดเป็นปริมาณของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่วัสดุพื้นถิ่นแต่ละชนิดปลดปล่อยพบว่า วัสดุพื้นถิ่นทุกชนิดมีการปล่อยไนโตรเจนมากกว่าฟอสฟอรัส ยกเว้นเปลือกไม้โกงกางที่ปล่อยฟอสฟอรัสออกมามากกว่า

ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในแต่ละวันแสดงใน Figure 2 พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรทในชุดควบคุม และชุดทดลองเปลือกไม้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนการใช้เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ และถ่านไม้ มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ

ความเข้มข้นไนโตรเจนและไนเตรทตั้งแต่ช่วงวันที่ 2 ของการศึกษาไปจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาของการศึกษา (วันที่ 5) ยกเว้นชุดทดลองเปลือกหอยแครงซึ่งมีแนวโน้มลดลงหรือคงที่ ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียตลอดระยะเวลา 5 วัน ความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนียในชุดควบคุมมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง แต่ในชุดทดลองวัสดุกรองหอยแครง และถ่านไม้ มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในช่วง 2 วันแรกของการทดลอง และลดลงในช่วง 3 วันสุดท้าย แตกต่างจากชุดทดลองวัสดุเปลือกหอยแมลงภู่ซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นแอมโมเนียในช่วง 3 วันแรก และค่อนข้างคงที่จนถึงสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง

Table 1. Water quality from using local materials as a filter in laboratory-scale experiment

Parameter	Control	Cockle shell	Mussel shell	Mangrove charcoal	Mangrove bark
Dissolved oxygen (mg/L)	6.31 ^a	6.22 ^a	6.26 ^a	6.30 ^a	6.23 ^a
Salinity (ppt)	22.04 ^a	22.08 ^a	21.82 ^a	21.46 ^a	21.52 ^a
pH	8.288 ^a	8.15 ^a	7.98 ^b	8.034 ^b	8.034 ^b
Alkalinity (mg as CaCO ₃ /L)	255.00 ^a	272.00 ^a	272.00 ^a	221.00 ^a	221.00 ^a
Phycoerythrin (µg/L)	197.16 ^a	78.71 ^b	5.142 ^c	10.88 ^c	9.29 ^c
Chlorophyll (µg/L)	82.13 ^a	31.91 ^b	2.512 ^c	4.836 ^c	4.28 ^c
Ortho-Phosphate (mg P-PO ₄ /L)	0.042 ^a	0.542 ^b	1.255 ^{cd}	1.017 ^{ce}	1.197 ^c
Ammonia (mg N-NH ₃ /L)	0.048 ^a	0.267 ^a	0.580 ^b	0.201 ^a	0.236 ^a
Nitrite (mg N-NO ₂ /L)	0.006 ^a	0.210 ^b	0.148 ^{ab}	0.134 ^{ab}	0.011 ^a
Nitrate (mg N-NO ₃ /L)	0.183 ^a	3.080 ^b	2.867 ^{ab}	2.189 ^{ab}	0.267 ^{ab}
Inorganic N : P (g/g)	-	10:01	8:01	5:01	1:04

Note: Values within a row followed by the same letter are not significantly with a 95% confidence interval.

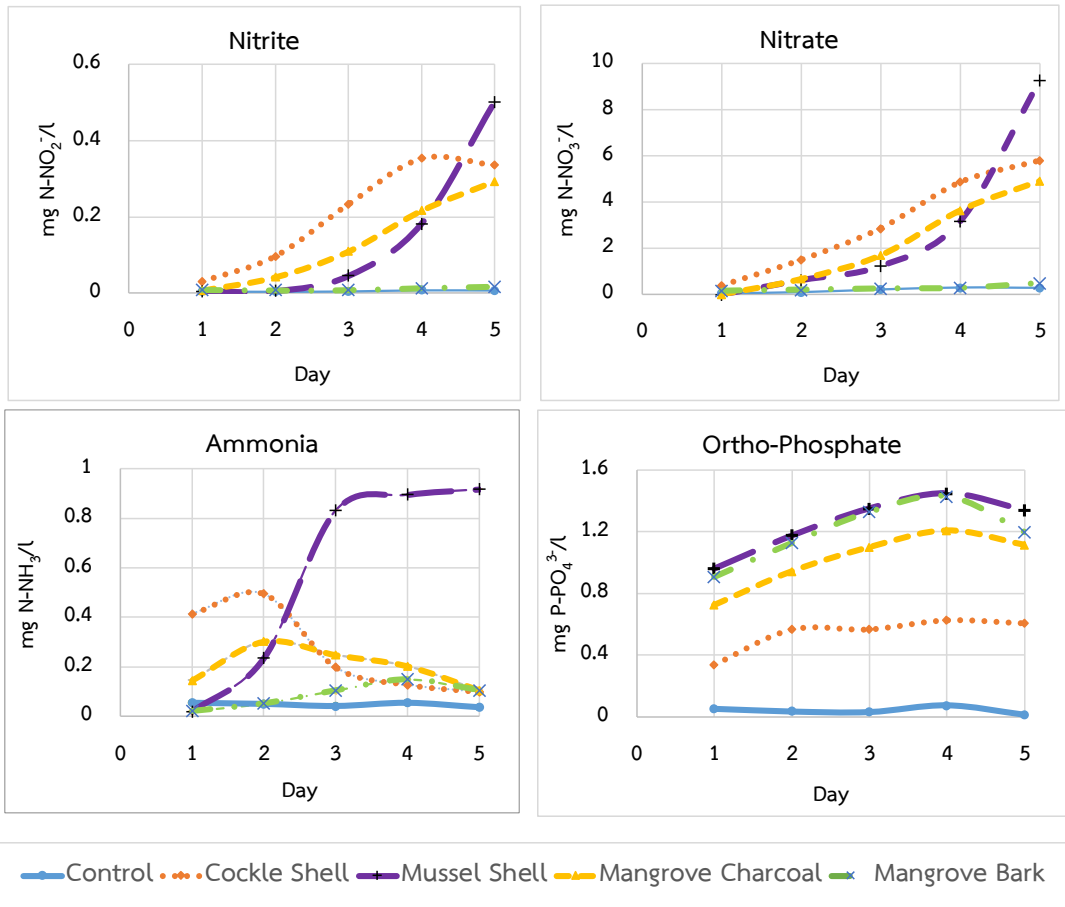


Figure 2. Changes of nutrient concentration during experiment

ความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองเปลือกหอยแมลงภู่มีค่าสูงสุด และมีความแตกต่างจากชุดทดลองอื่น ๆ และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P \leq 0.05$) ส่วนชุดวัสดุกรองเปลือกไม้พรวามีแนวโน้มใกล้เคียงกับชุดทดลองเปลือกหอยแมลงภู่ แต่มีการปลดปล่อยแอมโมเนียที่น้อยกว่าประมาณ 2 เท่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตจากชุดทดลองวัสดุกรองทั้ง 4 ชุด มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P \leq$

0.05) สำหรับการใช่วัสดุกรองเป็นเปลือกหอยแมลงภู่มีความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุดรองลงมาได้แก่ การใช่วัสดุกรองเปลือกไม้โกงกาง ถ่านไม้โกงกาง และหอยแครง ตามลำดับความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตของชุดกรองที่ใช่วัสดุพื้นถิ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันแรกของการทดลอง และลดลงในช่วงวันที่ 4 ของการทดลอง แตกต่างจากในชุดควบคุมซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการศึกษา โดยมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม

ประมาณ 12 – 30 เท่า เนื่องจากการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตจากวัสดุพื้นถิ่นที่ใช้

ผลการศึกษาการใช้วัสดุพื้นถิ่นร่วมกับการเลี้ยงกุ้งในกระชังในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากการอนุบาลสัตว์น้ำในกระชังทดลองที่มีวัสดุพื้นถิ่น และกระชังควบคุม ระยะเวลา 33 วัน พบว่าลูกกุ้งที่อายุ 11 วัน ภายในกระชังควบคุมความยาวเฉลี่ยสูงกว่ากระชังทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในช่วง 22 วันของการอนุบาล พบว่า ลูกกุ้งในกระชังควบคุมและกระชังที่มีวัสดุพื้นถิ่นมีความยาวเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วง 33 วันของการอนุบาล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

95 โดยลูกกุ้งในกระชังทดลองที่มีวัสดุพื้นถิ่นและกระชังควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะในด้านความยาวเฉลี่ยร้อยละ 4.4 ต่อวัน และร้อยละ 3.51 ต่อวัน ตามลำดับ มีความยาวมากกว่าลูกกุ้งในกระชังควบคุมประมาณร้อยละ 26 (Figure 3) เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะด้านความยาว พบว่าในกระชังที่มีวัสดุพื้นถิ่นมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาของการอนุบาลที่เวลา 11, 22 และ 33 วันเท่ากับร้อยละ 3.35, 4.46 และ 5.52 ตามลำดับ แตกต่างจากกระชังควบคุมที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าลดลงตั้งแต่ช่วงระยะเวลาวันที่ 11, 22 และ 33 วันของการอนุบาลเท่ากับร้อยละ 4.23, 3.24 และ 3.05 ตามลำดับ

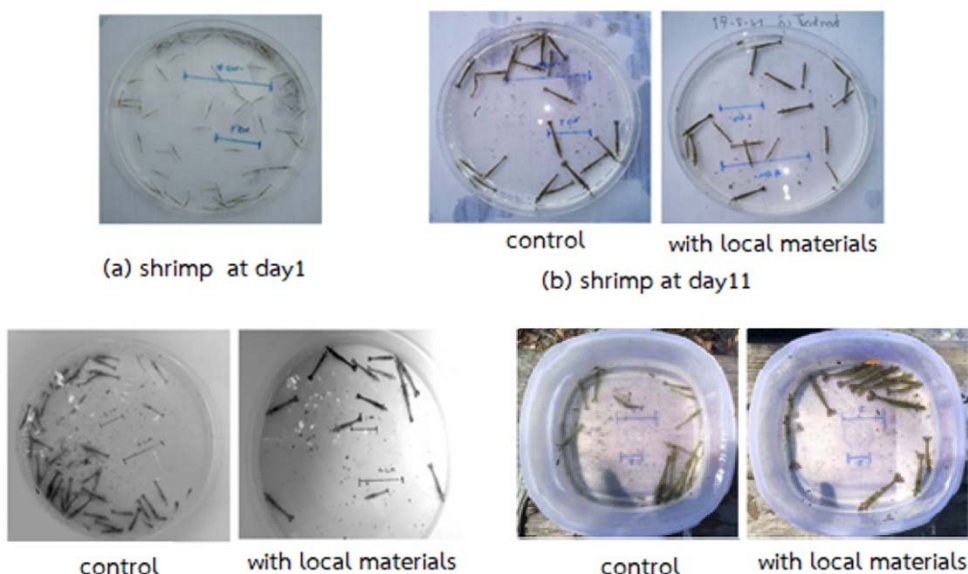


Figure 3. Shrimp in the net cage of control and with local materials during experiment

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในกระชังควบคุม และกระชังทดลองที่ใส่วัสดุพื้นถิ่นทุก ๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 1 เดือนแสดงดัง Table 2 และปริมาณโลหะหนักในวันที่ 33 แสดงใน Table 3 จากผลการ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำในกระชังอนุบาลพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 8.05 – 8.48 และอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 29.6 – 33.9 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำอยู่ในช่วง 13.4 – 38.4 มิลลิ

ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 8-16 ส่วนในหนึ่งพันส่วน (ppt) ค่าความขุ่นของน้ำในกระชังอนุบาลและบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 11.8 – 72.8 NTU ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงเมื่ออนุบาลกุ้ง

เป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน ปริมาณฟอสเฟตในกระชังทดลองที่ใส่วัสดุพื้นถิ่นหลังการอนุบาลกุ้งเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน มีค่าสูงกว่าในกระชังควบคุม ตลอดระยะเวลาในการอนุบาลกุ้งมีปริมาณฟอสเฟตในน้ำอยู่ในช่วง 0.03 – 0.05 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร

Table 2. Water quality in the net cage of control and with local materials

Parameters	With Local Materials				Control		
	Day 0	Day 11	Day 22	Day33	Day 11	Day 22	Day33
pH	8.31	8.05	8.30	8.43	8.29	8.44	8.48
Temperature (°C)	32.2	30.0	29.6	33.9	30.2	31.5	33.9
Dissolved oxygen (mg/L)	10.28	5.82	4.90	5.45	7.53	5.27	5.23
Conductivity (mS/cm)	38.2	26.7	16.6	13.7	23.4	15.7	13.4
Turbidity (NTU)	72.8	11.8	31.6	16.6	12.3	21.4	16.0
Ammonia (mgN/L)	0.034	0.041	0.378	0.037	N.D.	0.797	0.039
Nitrite (mgN/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.605	0.297
Nitrate (mgP/L)	0.578	0.728	1.457	0.004	0.654	0.044	0.016
Ortho-phosphate (mgP/L)	0.056	0.037	0.042	0.046	0.042	0.043	0.045

N.D. = not detectable

Table 3. Heavy metal in the net cage of control and with local materials

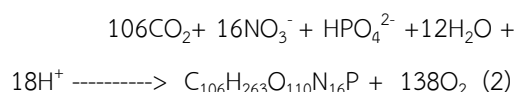
Heavy Metal	Concentration (mg/L)		Maximum allowable concentration (mg/L) for coastal water quality
	Control	With local materials	
Zinc	1.740	0.040	0.050
Copper	0.070	0.090	0.008
Lead	0.230	N.D.	0.008
Cadmium	0.017	0.003	0.005
Chromium	N.D.	N.D.	0.100
Nickel	0.050	N.D.	-

อภิปรายผล

จากการศึกษาอัตราการดูดซับและการปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุพื้นถิ่น 4 ชนิด ในห้องปฏิบัติการโดยจำลองคล้ายกับบ่อเพาะเลี้ยงพบว่ามีการดูดซับแอมโมเนียของเปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกไม้โกงกางในระยะสั้นๆ ช่วงแรก ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต ไนโตรเจน และไนเตรท ไม่เกิดการดูดซับแต่จะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา โดยเปลือกหอยแมลงภู่มีอัตราการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ไนโตรเจนสูงที่สุด ส่วนเปลือกไม้มีการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ไนโตรเจนต่ำที่สุด ซึ่งต่ำกว่าวัสดุอื่น ๆ 10-20 เท่า ส่วนของปริมาณออร์โธฟอสเฟตพบว่า เปลือกหอยแมลงภู่ ถ่านไม้ และเปลือกไม้ มีการปลดปล่อยปริมาณออร์โธฟอสเฟตใกล้เคียงกัน เปลือกหอยแครงเป็นวัสดุที่มีการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตต่ำที่สุด และต่ำกว่าวัสดุอื่น ๆ ประมาณ 2 เท่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่าง N : P พบว่า เปลือกหอยแครงมีสัดส่วน N : P สูงที่สุด

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำธรรมชาติมักมีสัตว์น้ำอื่นอยู่ด้วย รวมถึงปลาล่าเหยื่อ เช่น ปลากุเลา การอนุบาลลูกพันธุ์กุ้งในกระชัง ให้มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเป็นเหยื่อของปลา จะสามารถช่วยเพิ่มอัตราการรอดของลูกพันธุ์กุ้งในระยะแรก และควรอนุบาลลูกกุ้งโดยใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน ซึ่งจะได้ลูกกุ้งที่มีความยาวอย่างน้อย 4 เซนติเมตร และมีขนาดโตกว่าลูกปลาล่าเหยื่อ แต่อย่างไรก็ตาม การอนุบาลในระยะเวลา 1 เดือน หากไม่มีการให้อาหารก็อาจทำให้ลูกพันธุ์กุ้งไม่สามารถเจริญเติบโตได้เท่าที่ควร

และหากมีการให้อาหารมากเกินไปก็จะทำให้คุณภาพน้ำในพื้นที่อนุบาลเน่าเสียได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้วัสดุพื้นถิ่น ได้แก่ ถ่านไม้โกงกาง และเปลือกหอยแมลงภู่ มาช่วยสร้างระบบนิเวศภายในกระชัง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยวัสดุทั้ง 2 ชนิด สามารถปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟต จึงเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่สาหร่าย ทำให้สาหร่ายเจริญอยู่บนวัสดุพื้นถิ่น และเป็นอาหารแก่กุ้งได้ ทั้งนี้การเจริญเติบโตของสาหร่าย ขึ้นกับธาตุอาหารในแหล่งน้ำ โดยสาหร่ายมีองค์ประกอบของคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในอัตราส่วน 106: 16: 1 หรือเรียกว่าอัตราส่วน red field ซึ่งการสังเคราะห์แสงจะเป็นไปตามสมการที่ (2)



จากสมการที่ (2) อัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (N/P) โดยน้ำหนักเท่ากับ 7.2 ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการปล่อยธาตุอาหารของเปลือกหอยแมลงภู่ และน้ำที่ผ่านการกรองจากเปลือกหอยแมลงภู่ มีการเจริญของสาหร่าย (โดยพิจารณาจากปริมาณ chlorophyll) ไม่สูงมากนัก ขณะที่น้ำที่ผ่านการกรองจากเปลือกหอยแครงพบปริมาณสาหร่ายมาก เนื่องจากมีความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ซึ่งจากศึกษาอัตราส่วน N:P ของทะเลสาบในทวีปยุโรป พบว่าเมื่ออัตราส่วน N:P ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน redfield โดยมีค่าต่ำกว่า 6.2 จะพบสาหร่าย *Raphidiopsis raciborskii* เจริญขึ้นผิดปกติในทะเลสาบ โดยเฉพาะในช่วงเดือน

พฤษภาคมถึงกรกฎาคม (Recknagel *et al.*, 2019) ประกอบกับถ่านไม้โกงกางและเปลือกหอยแมลงภู่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเปลือกหอยแครง และสามารถหาได้ในพื้นที่ได้ง่าย จึงเหมาะสมในการนำมาแขวนที่กระชัง และไม่ต้องเสียค่าลงทุนสูง

การใส่วัสดุพื้นถิ่นร่วมกับการอนุบาลกุ้งพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตามการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (pH 5-9) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประเภทที่ 3 (pH 7 - 8.5) ของกรมควบคุมมลพิษ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในกระชังมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาอนุบาลกุ้งเนื่องจากกุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการในการใช้ออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโต และมีการทับถมของเลนตะกอนและของเสียจากการขับถ่ายของกุ้ง นอกจากนี้การชะละลายของถ่านไม้ในกระชังทดลองทำให้มีสารอินทรีย์ละลายน้ำสูง ถ่านไม้มีรูพรุนสูง แบคทีเรียและจุลินทรีย์สามารถยึดเกาะอยู่ตามพื้นผิวถ่าน แบคทีเรียต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในกระชังที่มีวัสดุพื้นถิ่นจึงต่ำกว่าในกระชังควบคุมและบ่อเพาะเลี้ยง กระชังทดลองที่ใช้วัสดุพื้นถิ่น สามารถปลดปล่อยธาตุอาหาร และช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการอนุบาลลูกกุ้งมากกว่ากระชังทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุพื้นถิ่น รวมถึงผลของไนโตรเจนในกระชังทดลองที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ตลอด

ระยะเวลา 33 วัน ของการอนุบาล และเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นในกระชังช่วงวันที่ 22 ของการอนุบาล กระชังทดลองมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่ากระชังควบคุมถึง 2 เท่า ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนและแอมโมเนียระหว่างกระชังทดลองและกระชังควบคุมอาจเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ภายในกระชังทดลองที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่ากระชังควบคุม สอดคล้องกับปริมาณไนเตรทที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในวันที่ 33 ของการเลี้ยงพบว่าปริมาณไนเตรทในกระชังทดลองมีปริมาณต่ำกว่ากระชังควบคุม และด้วยปัจจัยคุณภาพน้ำดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้ลูกพันธุ์กุ้งที่ทำการอนุบาลภายในกระชังทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากระชังควบคุม ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shyne-Anand *et al.* (2019) ที่ได้ใช้ไม้ไผ่ขนาด 5 x 2 x 1 เซนติเมตร รวมพื้นที่ผิว 540 ตารางเมตร ใส่ในบ่ออนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ เพื่อเป็นวัสดุรองรับในการเจริญของแพลงตอนและสาหร่าย พบว่าสามารถลดปริมาณไนเตรทได้ และเพิ่มอัตราการรอดได้ร้อยละ 14-30 โดยความหนาแน่นของลูกกุ้งมีผลต่อการเกิดแพลงตอนและสาหร่ายบนวัสดุรองรับ นอกจากนี้การใส่ถ่านยังช่วยลดปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากพื้นผิวของถ่านมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) มีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ Wang *et al.* (2019) ได้รายงานกลไกในการลดโลหะหนักของถ่าน เกิดขึ้นได้ เพราะโลหะหนักสามารถเกิดพันธะกับหมู่ฟังก์ชันที่เป็นสารอินทรีย์บนพื้นผิวถ่านเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

(complexation) เกิดการดูดซับที่พื้นผิวด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) และสามารถทำปฏิกิริยากับประจุลบและทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมบนพื้นผิวถ่าน (coprecipitation) ตัวอย่างเช่นการศึกษาการดูดซับแคดเมียมโดย Zhu *et al.* (2020) พบว่าปัจจัยหลักในการดูดซับของแคดเมียมบนถ่านชีวภาพ คือการเกิดพันธะของแคดเมียมที่หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) ซึ่งเมื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในกระชังที่มีวัสดุพื้นถ่านพบว่า ปริมาณโลหะหนักมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับในกระชังควบคุม โดยตรวจไม่พบตะกั่ว โครเมียม และนิกเกิลในกระชังทดลอง แคดเมียมในกระชังทดลองมีปริมาณลดลงถึง 5 เท่า และผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประเภทที่ 3 ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมในน้ำไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยปัจจัยคุณภาพน้ำดังกล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้ลูกพันธุ์กุ้งที่ทำการอนุบาลภายในกระชังทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากระชังควบคุม

จากการศึกษานี้ได้นำเปลือกหอยแมลงภู่และถ่านไม้ ซึ่งเป็นวัสดุพื้นถ่านเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและเพิ่มขนาดของลูกกุ้งนับเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำได้จริงและยั่งยืนเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับ Toyabut *et al.* (2019) ที่ได้รายงานการศึกษาพฤติกรรมในการพัฒนาสู่ความยั่งยืนของการทำการเกษตรในมิติของสังคม ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมว่า การให้ความรู้ด้านเทคโนโลยีในการผลิตใหม่ ควรจะมีราคาต่ำและถูก

ปรับให้เหมาะสมสอดคล้องกับวิถีของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ นำไปสู่การพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนบนพื้นฐานทางการพึ่งพาตนเอง

สรุป

วัสดุพื้นถ่าน 3 ชนิดได้แก่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และถ่านไม้โกงกาง มีความเหมาะสมในการเป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจน ส่วนเปลือกไม้โกงกางมีความเหมาะสมในการเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส เพราะให้สัดส่วนของฟอสเฟตที่สูงกว่าไนโตรเจน การใช้ถ่านไม้โกงกาง 7.6 กิโลกรัม และเปลือกหอยแมลงภู่ 2 กิโลกรัม ในการอนุบาลลูกกุ้ง 2,500 ตัว แขนงในอวนตาข่ายพื้นที่ 2 ตารางเมตร และฝังดิน 3.2 กิโลกรัม พบว่ามีความเหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำเนื่องจากมีน้ำหนักรเบา และมีการปลดปล่อยธาตุอาหาร ทำให้เกิดสาหร่ายเป็นอาหารกุ้ง และช่วยลดปริมาณโลหะหนักในน้ำได้ และได้กุ้งมีขนาดความยาวมากกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใส่วัสดุพื้นถ่าน

กิตติกรรมประกาศ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคกลางตอนล่าง ภายใต้โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ 2561 และชุมชนอีสาน อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม

เอกสารอ้างอิง

Boonanuntanasarn, S., P. Khaomek, T. Pitaksong and Y. Hua. 2014. The effect of the supplementation of activated charcoal on the growth,

health status and fillet composition-odor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) before harvesting. *Aquaculture International* 22(4): 1417-1436.

Michael, F.R., N.E. Saleh, S.M. Shalaby, E.M. Sakr, D.E. Abd-El-Khalek and A.I. Abd Elmonem. 2017. Effect of different dietary levels of commercial wood charcoal on growth, body composition and environmental loading of red tilapia hybrid. *Aquaculture Nutrition* 23(1): 210-216.

Priyadarsani, L. and T.J. Abraham. 2016. Water and sediment quality characteristics of medium saline traditional shrimp culture system (bheri). *Journal of Fisheries* 4(1): 309-318.

Qiao, S., X. Shi, X. Fang, S. Liu, N. Kornkanitnan, J. Gao, A. Zhu, L. Hu, Y. Yu. 2015. Heavy metal and clay mineral analyses in the sediments of Upper Gulf of Thailand and their implications on sedimentary provenance and dispersion pattern. *Journal of Asian Earth Sciences*. 114(3): 448-496.

Recknagel, F., T. Zohary, J. Rucker, P.T. Orr. 2019. Relationships of *Raphidiopsis* (formerly *Cylindrospermopsis*)

dynamics with water temperature and N:P-ratios: A meta-analysis across lakes with different climates based on inferential modelling. 2019. *Harmful Algae* 84(4): 222-232.

Shyne- Anand, P.S., C.P. Balasubraman, L. Christina, S. Kumar, G. Biswas, D. De, T.K. Ghoshai, K.K. Vijayan. 2019. Substrate base black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture: Stocking density, aeration and their effect on growth performance, water quality and periphyton development. *Aquaculture* 507(5): 411-418.

Toyabut, K., K. Sriaeim, B. Kanchanabha, 2019. Survey of sustainable agricultural behavior: Case study of agriculturists living in Bophloi Kanchanaburi. *Journal of Community Development and Life Quality* 7(3): 261-270.

Wang, L., Y. Wang, F. Ma, V. Tankpa, S. Bai, X. Guo, X. Wang. 2019. Mechanisms and reutilization of modified biochar used for removal of heavy metals from wastewater: A review. *Science of the Total Environment* 668(6): 1298-1309.

Zhu, L., L. Tong, N. Zhao, X. Wang, X. Yang, Y. Lv, 2020, Key factors and

microscopic mechanisms controlling
adsorption of cadmium by surface
oxidized and aminated biochars.
Journal of Hazardous Materials
382(1)
