

การบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระเจี๊ยบ

Phytoremediation of Low Salinity Effluents from Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) Culture by Water Spinach, Water Mimosa, and Water Chestnut.

สุบัตติต นิมรัตน์¹ บุญมา กรายไทยสงศ์² ไตรมาศ บุญไทย³ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย⁴

Subuntith Nimrat¹ Boonma Kraythaisong² Traimat Boonthai² and Verapong Vuthiphandchai³

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา ²โครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ³โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ⁴ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

¹Department of Microbiology ²Environmental Science Program, ³Biological Science Program, ⁴Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri 20131

*Corresponding author; E-mail: subunti@buu.ac.th; subunttbt@gmail.com

Received: 25 October 2022 /Revised: 02 November 2022 /Accepted: 11 November 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำ (1.1-1.4 พีพีที) จากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยใช้ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica* Forsk) ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea* Lour) และกระเจี๊ยบ (*Trapa bispinosa* Roxb) ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลิตร ในตู้กระจกจำลอง และศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ในระหว่างการบำบัดนาน 27 วัน จากการศึกษาพบว่ากระเจี๊ยบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด ($p < 0.05$) โดยลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนในแอมโมเนียม ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม บีโอดีและความขุ่นได้ร้อยละ 88.78, 53.24, 97.97, 70.47, 89.94 และ 91.66 ตามลำดับ รองลงมาคือ ผักกระเฉดและผักบุ้ง ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระเจี๊ยบผ่านค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งของกรมประมง (2562) นอกจากนี้กระเจี๊ยบยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 7.1 ± 1.1 ซึ่งสูงกว่าผักกระเฉด (ร้อยละ 6.2 ± 1.9) และผักบุ้ง (ร้อยละ 2.0 ± 1.2) การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากระเจี๊ยบเป็นพืชน้ำทางเลือกที่ดีในการบำบัดน้ำทิ้งความเค็มต่ำจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คำสำคัญ: กุ้งทะเล น้ำทิ้ง บีโอดี ไนโตรเจน พืชน้ำ



Abstract

This study aimed to compare the phytoremediation potential of low-salinity (1.1-1.4 ppt) effluent from black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) pond by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk), water mimosa (*Neptunia oleracea* Lour), and water chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb) at a density of 3 g/L in simulated glass aquaria. Growths of the three aquatic plants were also investigated during 27 days of remediation period. Results demonstrated that water chestnut showed the most effective remediation ($p < 0.05$) with removal efficiencies of total ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus, BOD, and turbidity of 88.78%, 53.24%, 97.97%, 70.47%, 89.94%, and 91.66%, respectively, followed by water mimosa, and water spinach. Total phosphorus and BOD concentrations in water chestnut-treated effluent were within acceptable values following the criteria of effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by Department of Fisheries (2019). Additionally, water chestnut grew well in the effluent from black tiger shrimp pond. Rate of weight increment of water chestnut was $7.1 \pm 1.1\%$, which was higher than that of water mimosa ($6.2 \pm 1.9\%$), and water spinach ($2.0 \pm 1.2\%$). This study demonstrates that water chestnut is a good choice of aquatic plant for phytoremediation of low-salinity effluent from black tiger shrimp pond.

Keywords: Marine shrimp, Effluent, BOD, Nitrogen, Aquatic plant

บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกกุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์จากกุ้งทะเลรายใหญ่ของโลก ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลทั่วประเทศรวม 26,700 ฟาร์ม ครอบคลุมพื้นที่ 342,068 ไร่ ปริมาณผลผลิตกุ้งทะเลรวมทั้งสิ้น 388,592 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวมสูงถึง 5.8 พันล้านบาท โดยกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศอย่างมาก รองมาจากกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) โดยมีปริมาณผลผลิต 14,743 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3.3 พันล้านบาท

ในปี พ.ศ. 2563¹ ปัจจุบันกุ้งกุลาดำมักเพาะเลี้ยงในพื้นที่น้ำกร่อยที่มีความเค็มต่ำ เพื่อลดปัญหาจากโรคระบาด เพิ่มการเจริญเติบโตและการจัดการฟาร์มที่ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการขยายพื้นที่การเพาะเลี้ยงอย่างรวดเร็วและการจัดการของเสียอย่างไม่มีประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การนำเสียของแหล่งน้ำ การตัดไม้ทำลายป่าชายเลน และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศชายฝั่ง เป็นต้น ตามปกติแล้วน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมักมีสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานของการระบายน้ำทิ้ง

จากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ได้แก่ ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ของแฉัง แวนลอย แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสรวม ไฮโดรเจน ซัลไฟด์และไนโตรเจนรวม² อีกทั้งน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ชนิดต่าง ๆ ในระดับวิกฤต เช่น ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และปรอท (Hg)^{3,4} การปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลที่ปนเปื้อนด้วยธาตุอาหาร (Nutrients) สามารถทำให้เกิดการเจริญของพืชน้ำ และสาหร่ายอย่างไ้ร่ขอบเขต (Eutrophication) ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และส่งผลทำให้การเจริญเติบโต การเจริญวัยและการสืบพันธุ์ลดลงและเพิ่มการตายของปลา⁵

น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล แม้ว่าเทคโนโลยีทางกายภาพและเคมีเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ แต่เทคโนโลยีเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งในการลงทุนสร้างระบบ การใช้พลังงานเพื่อเดินระบบและการบำรุงรักษา⁶ ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งเป็นวิธีการบำบัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน การบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นเทคโนโลยีการบำบัดทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ อย่างแพร่หลายในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดย Effendi et al.⁷ ได้กล่าวว่าการบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดการ คุ่มค่า สามารถจัดการน้ำ

ทั้งในปริมาณมากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พืชน้ำที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีหลายชนิด เช่น เทา น้ำ สาหร่ายคลอเรลลา สาหร่ายหางกระรอก ต้นธูปฤๅษี สันตะวาใบพาย สันตะวาใบข้าว ผักตบชวาและจอกหูหนู เป็นต้น

ผัก บุ่ง (*Ipomoea aquatica* Forsk) ผัก กระเจด (*Neptunia oleracea* Lour) และกระ จับ (*Trapa bispinosa* Roxb) เป็นพืชลอยน้ำ (Floating plants) ที่มีศักยภาพนำมาใช้ในการบำบัดสารพิษ ต่าง ๆ เนื่องจากเจริญเติบโตได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่ ปนเปื้อนสารมลภาวะ การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าพืชน้ำเหล่านี้มีศักยภาพในการบำบัดสาร ปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ ในน้ำเสีย เช่น ค่าบีโอดี ค่าซีโอ ดี โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ปรอทและสีย้อมที่ใช้ในสิ่งทอ^{8, 9, 10} พืชน้ำ เหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการ เพาะเลี้ยงปลา โดยมีบทบาทในการส่งเสริมการ เจริญเติบโต การกำจัดสารอาหารและปรับปรุง คุณภาพน้ำ¹¹ แต่ในปัจจุบันมีข้อมูลเพียงเล็กน้อย เกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ด้วยพืชลอยน้ำที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและมี ศักยภาพในการสร้างรายได้เสริมให้เกษตรกร โดยมี เพียงผักบุงและผักกระเจดที่ได้รับการยืนยันถึง ศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง ทะเลและปู^{8, 12} ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงมี วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการ บำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความ เติบโต (1.1-1.4 ฟิตฟิต) โดยการใช้ผักบุง ผักกระเจด และกระจับ และศึกษาการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เหล่านี้ที่ได้นำน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

วิธีการวิจัย

1. การเก็บน้ำทั้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ตั้งอยู่ในตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นการเลี้ยง กุ้งแบบพัฒนาในระบบปิดที่มีการเติมน้ำจืดในบาง ช่วงเพื่อรักษาระดับความเค็ม ทดแทนน้ำส่วนที่ ระเหยและรั่วซึม บ่อเลี้ยงกุ้งเป็นบ่อดินธรรมชาติ ขนาด 4 ไร่ ความลึกประมาณ 1.5 เมตร ที่มีการใช้ พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนคลุมบริเวณขอบบ่อ เพื่อป้องกันการพังทลายของดิน การให้อาการมีการ ติดตั้งเครื่องให้อาการแบบใบพัดตีน้ำในสัดส่วน 5 แร่งน้ำต่อไร่ ตั้งแต่เริ่มปล่อยกุ้งจนระยะจับกุ้ง เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งทำให้น้ำหมุนเวียนอย่างทั่วถึง ตะกอนต่าง ๆ รวมกันกลางบ่อและมีพื้นที่ สะอาดเพียงพอสำหรับกุ้ง อัตราการปล่อยลูกกุ้ง ประมาณ 50 ตัวต่อตารางเมตร การให้อาหาร ใช้อาหารสำเร็จรูปทางการค้าที่มีโปรตีน (>40%) ไขมัน (>5%) และกาก (<3%) โดยให้อาหาร 5 มื้อ

ต่อวัน การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดำเนินการเมื่อเลี้ยงกุ้งนาน 107 วัน ซึ่งเป็นระยะที่กุ้ง โตเต็มวัยพร้อมจับจำหน่าย โดยการสูบน้ำปริมาตร 5,000 ลิตร ที่ระดับที่ความลึกประมาณ 1 เมตรจาก ผิวหน้าด้วยเครื่องสูบน้ำผ่านถุงกรองพลาสติกขนาด 37 ไมครอน ใส่ลงในถังไฟเบอร์กลาส รวมทั้ง เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยจอบและ ใส่ลงในถุงพลาสติกสีดำ เพื่อนำมาเติมลงในตู้ กระเจกทันที่เมื่อบรรทุกมาถึงสถานที่ทำการทดลอง

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง กุลาดำพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มและ ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนค่าบีโอดีและฟอสฟอรัสรวมมี ค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์ น้ำชายฝั่ง (Table 1) หากปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดจะก่อให้เกิดการ สะสมของสารอาหารจนทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียได้ ดังนั้นน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งในการศึกษาครั้งนี้ จึงถูกนำมาใช้ในการบำบัดด้วยพืชน้ำทิ้ง 3 ชนิด

Table 1. Quality of black tiger shrimp culture effluents in this study

Parameters	Effluent discharge		Effluent standard values*
	Range	Mean	
pH	8.48-9.54	8.74±0.70	6.5 - 9.0
Temperature (°C)	32.00-32.90	32.48±0.46	-
Salinity (ppt)	0.9	0.9±0	Below 50% of natural reservoirs
Dissolved oxygen (mg/L)	6.40-9.45	7.97±1.53	-
Turbidity (NTU)	39.01-42.41	41.13±1.85	-

Table 1. Quality of black tiger shrimp culture effluents in this study (continue)

Parameters	Effluent discharge		Effluent standard values*
	Range	Mean	
Biochemical Oxygen Demand: BOD (mg/L)	32.13-33.04	32.59±0.46	< 20
Total ammonia (mg/L)	0.40-0.72	0.70±0.29	< 1.1
Nitrite (mg/L)	0.11-0.27	0.21±0.09	-
Nitrate (mg/L)	0.97-1.95	1.55±0.51	-
Total Phosphorus (mg/L)	1.08-1.58	1.73±0.73	< 0.4

* Regulatory discharge limits of effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by Department of Fisheries ²

2. การเตรียมพืชน้ำ

พืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระเจ็บ (Figure 1) พืชน้ำมีความสมบูรณ์พร้อมเหง้า มีความสูง ความยาว จำนวนใบ และน้ำหนักสดใกล้เคียงกันถูกเก็บมาจากหนองน้ำในเขตอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำกลับมายังห้องปฏิบัติการและล้างด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดตะกอนและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

จากนั้นนำมาปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสิ่งแวดล้อมในถังที่บรรจุน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำความเค็มต่ำ 500 ลิตร และต่อด้วยอุปกรณ์เติมอากาศและให้แสงสว่าง โดยนำเหง้าผักบุ้งและผักกระเฉดที่มีลำต้นสมบูรณ์วางลงบนแพไม้ไผ่ที่ใช้เป็นแพลตฟอร์ม ส่วนเหง้ากระเจ็บนำมาลอยในน้ำเป็นเวลา 4 วัน ก่อนนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในตู้กระจกต่อไป

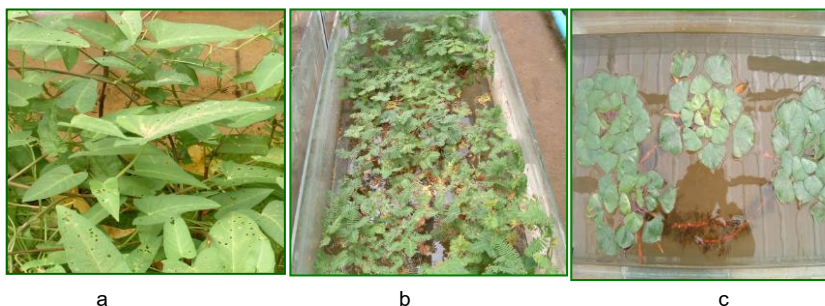


Figure1. Aquatic plants used for phytoremediation a) water spinach, b) water mimosa, and c) water chestnut

3. การออกแบบการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการออกแบบการทดลองแบบแผนสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยเริ่มจากเตรียมตู้กระจกขนาด 120 ลิตร

(40X75X40 เซนติเมตร) จำนวน 12 ใบ เติมน้ำที่เก็บมาจากรอบบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำลงในตู้กระจกให้มีความหนา 7 เซนติเมตร จากนั้นเติมน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำปริมาตร 100 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 วันก่อน

เริ่มการทดลองภายในโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชา
วาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้กระเจกแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุด
การทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) ชุดควบคุม
(ไม่เติมพีชน้ำ) 2) ชุดการทดลองเติมผักบุ้ง 3) ชุด
การทดลองเติมผักกระเฉด และ 4) ชุดการทดลอง
เติมกระเจบ ปริมาณพีชน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ
300 กรัมต่อตู้ (ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลิตร) และ
ไม่มีการเติมอากาศ ตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งจากการ
เพาะเลี้ยงกุ้งทุกวันและคุณภาพน้ำทิ้งของแต่ละชุด
การทดลองมีดังนี้ อุณหภูมิ (27.4-33.3 องศา
เซลเซียส) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.27-9.02) ปริมาณ
ออกซิเจนละลายน้ำ (4.53-12.38 มิลลิกรัมต่อลิตร)
และความเค็ม (1.1-1.4 พีพีที) โดยค่าความเป็น
กรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็มและปริมาณออกซิเจน
ละลายน้ำในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลา
การบำบัดนาน 27 วัน

4. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด
น้ำทิ้งของพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด คุณภาพน้ำทิ้งถูกตรวจ
วิเคราะห์ ณ เวลา 8:00 น. โดยตรวจวัดความขุ่นด้วย
เครื่องวัดค่าความขุ่น (Model 2100 N: Dusseldorf,
Germany) รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณมุมทั้ง
4 ด้านและจุดกึ่งกลางของตู้กระเจกแล้วนำมารวมกัน
เป็นตัวอย่างเดียว (Integrated sample) เพื่อนำมา
วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนเตรต ไนไตรต์และ
ฟอสฟอรัสรวมด้วยเทคนิค Modified indophenol
blue, Brucine method, Diazotization และ Persulfate
digestion - ascorbic acid method โดยใช้สารละลาย
แอมโมเนียมคลอไรด์ โพแทสเซียมไนเตรต โซเดียม

ไนไตรต์และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็น
สารละลายมาตรฐาน และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 640,
410, 543 และ 885 นาโนเมตร ตามลำดับ^{13, 14} และ
วิเคราะห์ค่าพีไอดีด้วยวิธี Azide Modification¹⁵

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนีย
รวม ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม ความขุ่นและ
พีไอดีถูกวิเคราะห์ในวันสุดท้ายของการทดลอง
โดยคำนวณจากสมการของ Devi et al.¹⁶ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

โดย C_0 คือความเข้มข้นของตัวแปร ณ เวลาเริ่มต้น
และ C_1 คือความเข้มข้นของตัวแปรสุดท้าย

5. การประเมินการเจริญเติบโตของพีชน้ำ

ซึ่งน้ำหนักสดของพีชน้ำในแต่ละชุดการ
ทดลองในวันเริ่มต้นการทดลองและวันสุดท้ายของ
การทดลอง จากนั้นคำนวณการเจริญเติบโตจาก
สมการ ดังนี้

$$\text{อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

โดย W_0 คือน้ำหนักสด ณ เวลาเริ่มต้น

และ W_1 คือน้ำหนัก ณ วันสุดท้ายของการทดลอง

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐาน ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ ถูกเปรียบเทียบ
ด้วยการวิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA)
แบบ One-way ANOVA และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วย
Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ p
 < 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 19.0

ผลการวิจัย

1. ผลของการบำบัดด้วยพืชน้ำต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม ไนโตรด ไนเตรด ฟอสฟอรัสรวม ความขุ่นและบีโอดี

ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำในชุดควบคุมและชุดที่เติมพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด มีค่าแปรปรวนในช่วง 13 วันแรกของการบำบัด แต่หลังจากนั้นกระจัดมีประสิทธิภาพในการ

ลดปริมาณแอมโมเนียรวมได้ดีที่สุด โดยแอมโมเนียรวมในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระจัดมีปริมาณต่ำที่สุด (0.06 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (0.13 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผักบุ้ง (0.14 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (0.18 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 2)

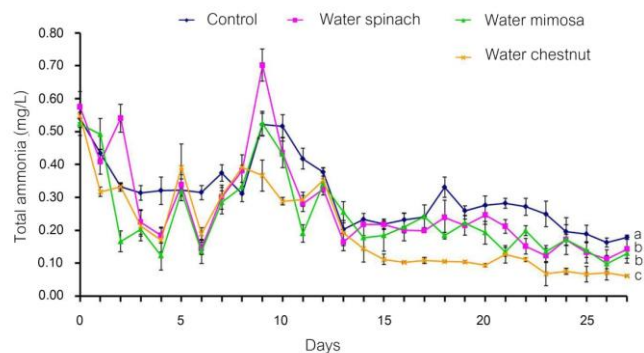


Figure 2. Total ammonia concentration in low-salinity effluent from black tiger shrimp culture phytoremediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial. Regulatory discharge limits of ammonia (<1.1 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by Department of Fisheries ²

น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ในวันแรกของการทดลอง มีปริมาณไนเตรดสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรดในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระจัดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการบำบัด ในขณะที่น้ำทิ้งในชุดควบคุมมีปริมาณไนเตรดค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณไนเตรดใน

น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระจัด ผักบุ้งและผักกระเฉดมีค่าเท่ากับ 0.04 ± 0.00 , 0.07 ± 0.02 และ 0.11 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าน้ำทิ้งในชุดควบคุม (0.69 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 3)

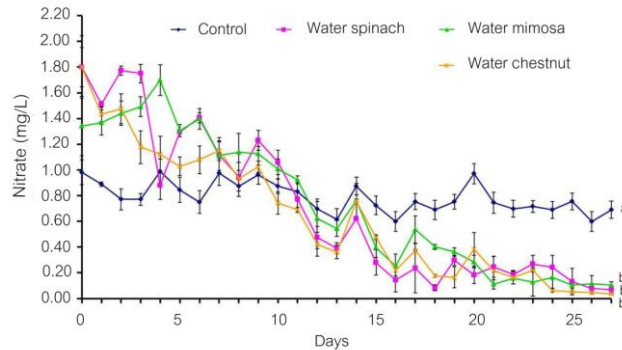


Figure 3. Nitrate concentration in effluent from black tiger shrimp culture phytoremediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

ไนไตรต์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด และชุดควบคุมมีค่าแปรปรวนในช่วง 15 วันแรกของการบำบัด หลังจากนั้นไนไตรต์ในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉดและกระเจี๊ยบมีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นเมื่อสิ้นสุดการบำบัดนาน 27 วัน น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉดและกระเจี๊ยบมีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ

0.007 ± 0.001 และ 0.007 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง (0.009 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (0.011 ± 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; Figure 4)

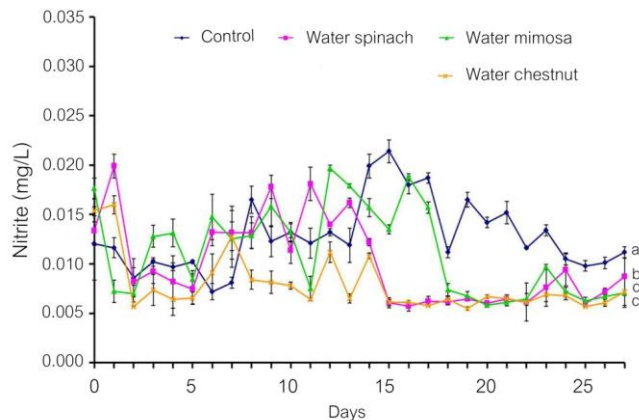


Figure 4. Nitrite concentration in effluent from black tiger shrimp culture phytoremediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

ฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 8 วันแรกของการบำบัด หลังจากนั้นน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพีชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงอย่างชัดเจน โดยน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระเจี๊ยบมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ 0.39 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่า

ค่ามาตรฐาน (0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) และต่ำกว่าน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (0.49 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผักบุ้ง (0.64 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร) และชุดควบคุม (1.08 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 5)

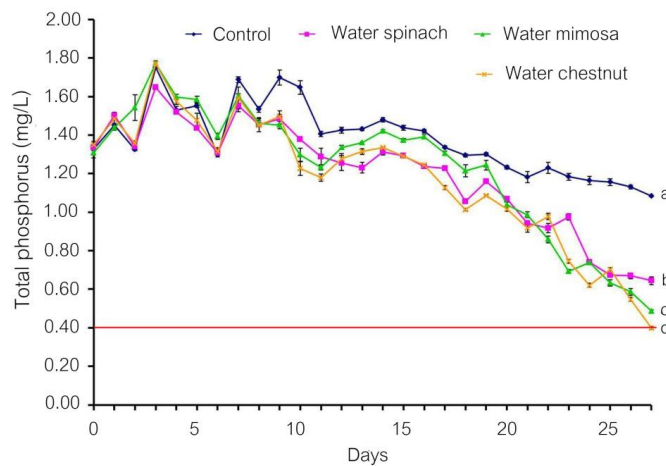


Figure 5. Total phosphorus concentration in effluent from black tiger shrimp culture phyto remediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phyto remediation trial.

— Effluent standard value of total phosphorus (<0.4 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by Department of Fisheries ²

ปริมาณบีโอดีของทุกชุดการทดลองในวันแรกของการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง $31.89 \pm 2.58 - 32.00 \pm 1.20$ มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง ปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระเจี๊ยบหลังการบำบัดนาน 27 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 4.72 ± 0.51 , 4.31 ± 0.63 และ

3.22 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุม (13.58 ± 1.49 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$; Figure 6) โดยค่าบีโอดีในทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดนาน 27 วัน

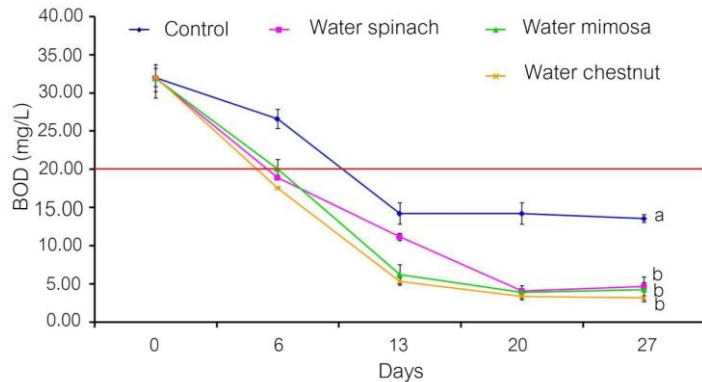


Figure 6. BOD values in effluent from black tiger shrimp culture phytoremediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

— Effluent standard value of BOD (<20 mg/L) in effluents from marine shrimp culture in coastal areas imposed by Department of Fisheries ²

ความขุ่นของทุกชุดการทดลองในวันแรกของการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 38.11 ± 1.34 - 38.62 ± 1.01 NTU หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำที่บำบัดด้วยกระบี่มีความขุ่นน้อยที่สุด (3.22 ± 0.24 NTU)

และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับน้ำที่บำบัดด้วยผักกระเฉด (6.21 ± 0.97 NTU) ผักบุ้ง (8.22 ± 1.02 NTU) และชุดควบคุม (14.19 ± 0.52 NTU) หลังการบำบัดนาน 27 วัน (Figure 7)

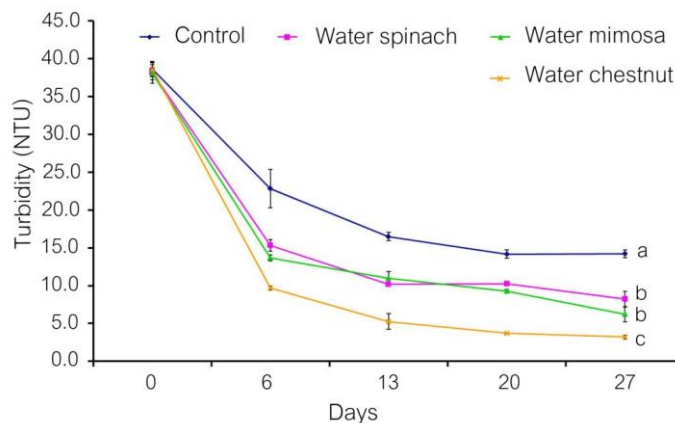


Figure 7. Turbidity values in effluent from black tiger shrimp culture phytoremediated by water spinach, water mimosa, and water chestnut during 27-day trial. Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

2. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งของพืชน้ำ

กระเจี๊ยบมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้ง โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียรวม (ร้อยละ 88.78±1.09) ฟอสฟอรัสรวม (ร้อยละ 70.47±1.39) และความขุ่น (ร้อยละ 91.66±3.33)

สูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับผักบุ้ง ผักกระเฉดและชุดควบคุม ส่วนอัตราการบำบัดไนไตรต์และบีโอดีของกระเจี๊ยบมีค่าใกล้เคียงกับผักกระเฉดและสูงกว่าผักบุ้งและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

Table 2. Removal efficiencies of pollutants in black tiger shrimp culture effluent by water spinach, water mimosa, and water chestnut at phytoremediation period of 27 days

Pollutants	Removal efficiencies (%)			
	Control	Water spinach	Water mimosa	Water chestnut
Ammonia	66.95±0.57 ^a	75.11±1.21 ^b	75.25±0.89 ^b	88.78±1.09 ^c
Nitrite	7.18±1.22 ^a	34.91±1.49 ^b	59.81±1.20 ^c	53.24±1.56 ^c
Nitrate	29.59±1.56 ^a	96.17±1.91 ^b	92.15±0.98 ^b	97.97±2.09 ^b
Total phosphorus	18.42±1.31 ^a	51.77±2.29 ^b	62.75±2.82 ^c	70.47±1.39 ^d
BOD	57.54±0.49 ^a	85.21±0.51 ^b	86.50±1.63 ^{bc}	89.94±1.24 ^c
Turbidity	63.25±2.57 ^a	78.49±2.91 ^b	83.72±0.95 ^c	91.66±3.33 ^d

Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments at 27 days of phytoremediation trial.

3. การเจริญเติบโตของพืชน้ำ

หลังการบำบัดน้ำทิ้งนาน 27 วัน กระเจี๊ยบมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.1±1.1 ซึ่งใกล้เคียงกับผักกระเฉด (ร้อยละ 6.2±1.9) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับผักบุ้ง คือ ร้อยละ 2.0±1.2 (Table 3)

Table 3. Growth performance of aquatic plants used in this study at remediation period of 27 days

Aquatic plants	Rates of weight increment (%)
Water spinach	2.0±1.2 ^a
Water mimosa	6.2±1.9 ^b
Water chestnut	7.1±1.1 ^b

Lowercase letters indicate significant ($p < 0.05$) difference among treatments.

อภิปรายผล

การบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและง่ายต่อการจัดการในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล⁷ การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ากระเจ็บเป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความเค็มต่ำ เนื่องจากสามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนในแอมโมเนียรวม บีโอดีและความขุ่นได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีหลังการบำบัดด้วยกระเจ็บนาน 27 วัน ลดลงอยู่ในระดับค่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งที่ประกาศโดยกรมประมง² นอกจากนี้ยังมียังมีประสิทธิภาพสูงกว่าพืชน้ำอีก 2 ชนิด คือ ผักบุ้งและผักกระเฉด ก่อนหน้านั้นมีรายงานการใช้พืชน้ำหลายชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาว เช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) แหนเป็ด (*Lemna perpusilla* Torr.) และผ่าหรือไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza*) โดยสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนในแอมโมเนียรวม ไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลและปู หลังการบำบัดระยะสั้นคือ 72 ชั่วโมง และระยะยาวคือ 53 วัน^{8, 12, 17, 18, 19}

ตามปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรเจนและไนเตรต จะอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยการออกซิเดชันของแอมโมเนียเป็นไนไตรต์และไนเตรตผ่านปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันต่อเนื่องด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) และก๊าซไนโตรเจนเพื่อปล่อย

ออกสู่บรรยากาศต่อไป¹⁹ การลดลงของแอมโมเนียรวม ไนไตรต์และไนเตรตในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระเจ็บ ผักกระเฉดและผักบุ้งในการศึกษานี้ไม่น่าจะไม่ได้เกิดจากการใช้สารประกอบไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของพืชน้ำเพียงเท่านั้น แต่ยังได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่อาศัยอยู่ในน้ำทิ้งและบริเวณรากของพืชน้ำ ดังรายงานของ Zhang et al.¹² ที่พบจุลินทรีย์กลุ่มแอมโมเนียฟายอิง ในทริฟายอิงและดีไนทริฟายอิงอาศัยอยู่บริเวณรากของผักบุ้งที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ กุ้งกุลาดำ กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium* sp.) และปูแม่น้ำแยงซี (Yangtze River crab) และแบคทีเรียเหล่านี้มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้ง โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีอยู่ในน้ำทิ้งและรากของพืชน้ำต้องการออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอเพื่อเพิ่มกระบวนการย่อยสลายให้สูงขึ้น การเติมอากาศเข้าไปในระบบโดยอาศัยพืชน้ำจะช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งเกิดได้ดียิ่งขึ้น²⁰

ปริมาณฟอสฟอรัสรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระเจ็บ ที่น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าผ่านมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่งของกรมประมง² หลังการบำบัดนาน 27 วัน การศึกษานี้ยังพบว่าการย่อยสลายของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำต้องใช้เวลา นานกว่า บีโอดีและสารประกอบไนโตรเจน สอดคล้องกับการบำบัดน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์นมด้วยจอก (*Pistia stratiotes*) ที่พบว่าการบำบัดนาน 20 วัน สามารถย่อยสลายฟอสฟอรัส

ได้เพียง 69.3% เท่านั้น²¹ เช่นเดียวกับแอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต การลดลงของปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำน่าจะเป็นเกิดจากการดูดซึมฟอสฟอรัสของพืชน้ำ การศึกษาของ Zhang et al.¹² พบว่ากลไกหลักในการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของผักบุ้ง คือ การดูดซึมเพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้จุลินทรีย์ประจำถิ่นในน้ำทิ้งและบริเวณรากของพืชน้ำก็มีบทบาทในการลดปริมาณฟอสฟอรัสเช่นเดียวกัน¹⁹

ค่าบีโอดีเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้ง การศึกษานี้ อัตราการลดลงของค่าบีโอดีเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยพืชน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบะจับและผักกระเฉด โดย Suppadit et al.⁸ รายงานว่าผักกระเฉดมีศักยภาพในการลดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้สูงถึงร้อยละ 93.5 ด้วยระยะเวลาการบำบัดนาน 30 วัน ในทำนองเดียวกันผักตบชวาเป็นพืชน้ำอีกชนิดหนึ่งที่สามารถลดค่าบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 70 เมื่อบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีความเค็มสูง คือ 25 พีพีที ภายในระยะเวลา 76 ชั่วโมง¹⁹ การศึกษาในครั้งนี้ น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยกระบะจับ ผักกระเฉดและผักบุ้ง มีค่าผ่านมาตรฐานปริมาณบีโอดี (<20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำทิ้งจากกิจกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่ง ตามประกาศของกรมประมง² ภายในระยะเวลา 6 วัน ส่วนน้ำทิ้งในชุดควบคุมใช้ระยะเวลาประมาณ 10 วัน ในการลดค่าบีโอดีให้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน การลดลงของค่าบีโอดีแสดงให้เห็นถึงการดูดซึมสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเพื่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อย

สลายสารปนเปื้อน โดยอาศัยการเพิ่มออกซิเจนในน้ำทิ้งด้วยพืชน้ำ⁸

ความชุ่มชื้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ เมื่อปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความใสของน้ำลดลง²² น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่บำบัดด้วยกระบะจับ ผักตบชวาและผักบุ้งมีความชุ่มชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ อาจเกิดจากพืชน้ำเหล่านี้ช่วยในการดักจับของแข็งแขวนลอยไว้บริเวณลำต้น ใบและราก รวมทั้งเพิ่มการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการลดความชุ่มชื้นของพืชน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความหนาแน่นของพืชน้ำ ความยาวของลำต้นและราก เป็นต้น²³ การศึกษาในครั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่ากระบะจับเป็นพืชน้ำที่สามารถลดความชุ่มชื้นของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจอธิบายได้จากลักษณะเฉพาะของกระบะจับที่เป็นพืชน้ำที่มีส่วนลำต้นบริเวณท้องน้ำแตกไหลเลื้อยยาวเป็นข้อปล้องและมีรากขนาดเล็กแตกออกจากบริเวณข้อไหลทำให้มีพื้นที่ผิวมากในการดูดซับของแข็งแขวนลอยในน้ำ ทำให้อัตราการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

นอกจากประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอาหาร กระบะจับยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าผักกระเฉดเล็กน้อย แต่สูงกว่าผักบุ้งถึง 3.55 เท่า การเจริญเติบโตได้ดีของกระบะจับแสดงถึงการเป็นพืชตัวเลือกที่ดีศักยภาพในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบความเค็มต่ำ รวมทั้งการเจริญเติบโตที่ดีของกระบะจับยังน่าจะเป็นเหตุผล

อธิบายถึงปริมาณสารต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำชนิดอื่น งานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ได้ยืนยันความสามารถในการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำของผักกระเฉดในพื้นที่น้ำจืด แต่การศึกษาในครั้งนี้ผักกระเฉดมีการเจริญเติบโตต่ำกว่ากระบี่ ตามปกติแล้วในธรรมชาติผักกระเฉดจะเจริญเติบโตได้ดีขึ้นมากเมื่อเจริญเติบโตร่วมกับกก⁸ แต่การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้เติมกกลงบ่อบำบัดน้ำทิ้งซึ่งน่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกระเฉด ผักบุ้งเป็นพืชลอยน้ำอีกชนิดที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นทางเลือกที่ดีในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เนื่องจากเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและเป็นที่ต้องการของตลาด¹² แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้พบว่าผักบุ้งมีการเจริญเติบโตได้ต่ำในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากความแตกต่างของสายพันธุ์ผักบุ้ง ลักษณะภูมิอากาศและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การใช้กระบี่ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปัญหาหมอกควันในระบบนิเวศและทำให้การเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมีความยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากระบี่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบความเค็มต่ำ โดยสามารถลดปริมาณ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสฟอรัสรวม บีโอดีและความขุ่นได้ร้อยละ 88.78, 53.24, 97.97, 70.47, 89.94 และ 91.66 ตามลำดับ

หลังการบำบัดนาน 27 วัน ซึ่งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมและบีโอดีเป็นไปตามข้อกำหนดการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลบริเวณชายฝั่ง ของกรมประมง² นอกจากนี้กระบี่ยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังนั้นการบำบัดด้วยกระบี่จึงช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตควรเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดด้วยกระบี่ในบ่อพักน้ำจากการเพาะเลี้ยงจริง โดยพิจารณาความหนาแน่นที่เหมาะสมและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

เอกสารอ้างอิง

1. กรมประมง. สถิติผลผลิตการเลี้ยงกุ้งทะเลประจำปี 2563. เอกสารฉบับที่ 10/2564. กรุงเทพฯ: กลุ่มสถิติการประมง, กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2564.
2. ประกาศกรมประมง. ข้อกำหนดให้ผู้ประกอบการกิจการการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ซึ่งเป็นกิจการการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควบคุมภายในเขตเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตามมาตรา 77 แห่งพระราชกำหนดการประมง พ.ศ. 2558 ตั้งปฏิบัติ พ.ศ. 2562. กรุงเทพฯ: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2562.
3. Umamaheswari G, Srinivasan M, Ramanathan T. Heavy metal concentration from shrimp culture ponds at Point Calimer area. Curr Res J Biol Sci 2011;3:73-7.



4. Na Nakorn A, Chevavidagam P, Danteravanich S. Environmental impact of white shrimp culture during 2012-2013 at Bandon Bay, Surat Thani Province: a case study investigating farm size. *Agric Nat Resour* 2017;51:109-16.
5. Umesh NR, Mohan CV, Phillips MJ, Bhat BV, Ravi BG, Chandra MAB, et al. Risk analysis in aquaculture - experiences from small-scale shrimp farmers of India. *Underst Appl Risk Anal Aquac FAO Fisheries* 2008;1:247-64.
6. Tom AS, Jayakumar JS, Biju M, Somarajan J, Ibrahim MA. Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: a review. *Energy Nexus* 2021;4:100022.
7. Effendi H, Margaretha JA, Krisanti M. Reducing ammonia and chromium concentration in batik wastewater by vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) grown in floating wetland. *Appl Ecol Environ Res* 2018;16:2947-56.
8. Suppadit T, Phoonchinda W, Bunsirichai P. Treatment of effluent from shrimp farm by using water mimosa (*Neptunia oleracea* Lour). *J ISSAAS* 2005;11:1-11.
9. Chandanshive VV, Kadam SK, Khandare RV, Kurade MB, Jeon BH, Jadhav JP, et al. In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth. *Chemosphere* 2018;210:968-76.
10. Kumar V, Chopra AK. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of activated sludge process based municipal wastewater treatment plant. *Environ Technol* 2018;39:12-23.
11. Nuwansi KKT, Verma AK, Prakash C, Tiwari VK, Chandrakant MH, Shete AP, et al. Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system. *Aquac Int* 2016;24:385-93.
12. Zhang Q, Achal V, Xu Y, Xiang WN. Aquaculture wastewater quality improvement by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsskal) floating bed and ecological benefit assessment in ecological agriculture district. *Aquac Eng* 2014;60:48-55.
13. Strickland JDH, Parsons TR. A manual of seawater analysis. Ottawa: Bulletin of the Fisheries Research Board; 1972.
14. Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M. Methods of seawater analysis. New Jersey: John Wiley&Sons; 2009.
15. American Public Health Association. Standard method for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
16. Devi MG, Shinoon A, Hasmi ZS, Sekhar GC. Treatment of vegetable oil mill effluent using crab shell chitosanas adsorbent. *Int J Environ Sci Technol* 2012;9:713-8.
17. Ruenglerpanyakul W, Attasat S, Wanichpongpan P. Nutrient removal from shrimp farm effluent by



- aquatic plants. *Water Sci Technol* 2004;50:321-30.
18. Suppadit T, Phoochinda W, Phutthilerphong S, Nieobubpa C. Treatment of effluent from shrimp farms using watermeal (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). *ScienceAsia* 2008;34:163-8.
19. Nyanti L, Berundang G, Ling TY. Short term treatment of shrimp aquaculture wastewater using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *World Appl Sci J* 2010;8:1150-6.
20. Bala JD, Lalung J, Ismail N. Biodegradation of palm oil mill effluent (POME) by bacterial. *Int J Sci Res Publ* 2014;4:502-11.
21. Dipu S, Anju A, Kumar V, Thanga SG. Phytoremediation of dairy effluent by constructed wetland technology using wetland macrophytes. *Glob J Environ Res* 2010;4:90-100.
22. Tananaev NI, Debolskiy MV. Turbidity observations in sediment flux studies: examples from Russian rivers in cold environments. *Geomorphology* 2014;218:63-71.
23. Yahyapour S, Golshan A, Ghazali AH. Removal of total suspended solids and turbidity within experimental vegetated channel: optimization through response surface methodology. *J. Hydro Environment Res* 2014;8:260-9.