ประสิทธิภาพของพรรณไม้น้ำสวยงามต่อการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มกบ

Efficiency of Various Ornamental Aquatic Plants for Frog Farming Effluent Treatment

อานุช คีรีรัฐนิคม[1]*, สุภฎา คีรีรัฐนิคม[1] และแสงมณี หวานเสนาะ[2]

Anut Kiritatnikom[1]*, Suphada Kiritatnikom[1] and Saengmanee Wansanoh[2]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[2] บริษัท ทีเอ็นพี เอ็นไวรอนเม้นท์ จำกัด นนทบุรี 11110

[1] Department of Biological Science and Environment, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthaung, Thailand 93210

[2] TNP Environment co.,LTD, Nonthaburi Thailand 11110

* Corresponding author; e-mail address: anut59@hotmail.com

Received: October 20, 2022;

Revised: July 28, 2023;

Accepted: February 14, 2024

DOI: https://doi.org/10.55164/jtai.v2i1.176

บทคัดย่อ

ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงกบด้วยพรรณไม้น้ำสวยงาม ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่าย คาบอมบา สันตะวาใบข้าว และสาหร่ายดาวกระจาย เป็นเวลา 15 วัน ซึ่งนอกจากเป็นการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วยังเกิดการใช้ประโยชน์น้ำเสียเพื่อเพาะปลูกพรรณไม้น้ำที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ น้ำเสียเริ่มต้นมีปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต 23.06, 0.01, 11.76 และ 1.05 mg/L ตามลำดับ พบว่า สาหร่ายคาบอมบา ลดปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรทได้ 100.00±0.00% และ 54.79±13.57% ในเวลา 6 วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) ขณะที่สันตะวาใบข้าวลดปริมาณไนไตรท์ได้มากที่สุดในเวลา 6 วัน (26.95±5.01%) สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจายมีประสิทธิภาพในการลดออร์โธฟอสเฟตในเวลา 9 วัน โดยมีค่า 66.12±10.33%, 53.51±4.77% และ 42.05±6.16% ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่า สันตะวาใบข้าวไม่สามารถเจริญได้ โดยที่มวลชีวภาพของสาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจายลดลงกว่ามวลชีวภาพเริ่มต้น แต่สาหร่ายหางกระรอกมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น การทดลองสรุปว่าสาหร่ายคาบอมบามีศักยภาพเป็นพรรณไม้น้ำสวยงามสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบได้ในระยะเวลา 6-9 วัน แต่ในระยะเวลาที่นานกว่านี้ทำให้พืชมีการเจริญลดลง

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำทิ้ง, น้ำทิ้งจากฟาร์มกบ, พรรณไม้น้ำสวยงาม

Abstract

Studied on wastes removal from frog-farm wastewater by using various ornamental aquatic plants i.e. Hydrilla (Hydrilla verticillata), Green Cabomba (Cabomba caroliniana), Blyxa (Blyxa echinosperma) and Wisteria (Hygrophila difformis) for 15 days, a part of aquatic animal waste water treatment, the aim of study was also focus on the utilize waste water for the cultivation of economically ornamental aquatic plants. Initial concentration of ammonia, nitrite, nitrate and orthophosphate were 23.06, 0.01, 11.76 and 1.05 mg/L respectively. Ammonia and nitrate removal efficiency in Green Cabomba were 100.00±0.00%and 54.79±13.57% within 6 days and showed a higher removal efficiency than other treatments ($p<0.05$). Whereas, the highest nitrite removal efficiency (26.95±5.01%) was found in Blyxa on day-6. Orthophosphate removal efficiency of Hydrilla, Green Cabomba and Wisteria on day-9 were 66.12±10.33 %, 53.51±4.77 % and 42.05±6.16 % respectively. At the end of the experiment, Blyxa cannot survive within 15 days of the experimental period, the final biomass of Green Cabomba and Wisteria lower than the initial value, but Hydrilla increased biomass during all experimental period. In conclusion, Green Cabomba had a high potential for application as plant phytoremediation in frog farm effluent treatment systems. But, reductions of plant growth are observed over a longer period of the experiment.

Keywords: Wastewater treatment, Frog-farm effluent, Ornamental aquatic plants

คำนำ

กบเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีปริมาณการผลิตในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากผลผลิตจากธรรมชาติลดน้อยลงและความต้องการของตลาดเพิ่มสูงขึ้น (เหล็กไหล จันทะบุตร และคณะ, 2564) การเลี้ยงกบในภาคใต้เป็นระบบการเลี้ยงแบบพัฒนาในบ่อคอนกรีต เลี้ยงกบด้วยความหนาแน่นสูง ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูป โดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหมดทั้งบ่อวันละ 2 ครั้ง โดยมุ่งเลี้ยงกบเนื้อที่มีขนาดใหญ่สำหรับส่งออกไปยังประเทศมาเลเซีย ระบบการเลี้ยงดังกล่าวก่อให้เกิดของเสียสะสมในน้ำที่ระบายทิ้งในปริมาณมาก ซึ่งเกิดขึ้นจากการย่อยสลายอาหารที่กบได้รับ ทั้งของเสียไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยสารประกอบไนโตรเจนที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะพบมากรูปแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานและจำเป็นต้องกำจัดก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม (สุรเสน ศรีริกานนท์, 2552; สุภาวดี โกยดุลย์, 2557)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบพืชบำบัดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติซึ่งกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ต้องการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ทั้งนี้ได้มีผลการศึกษาว่าพืชหลายชนิดสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี เช่น แหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตรวมในน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาตะเพียนทอง ได้มากถึง 50-70% (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์ และคณะ, 2553) สาหร่ายหางกระรอกสามารถกำจัดฟอสเฟตจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ได้ถึง 86 % (กิตติมา วานิชกูล และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าแฝก และกกรังกามีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียจากการเลี้ยงปลาดุก 67 % ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส 90 % (Raharjo et al., 2018) กกรังกาบำบัดแอมโมเนียจากน้ำที่เลี้ยงปลาดุกได้ 89 % (วิภาดา วงค์เรือนแก้ว และโสมนัส สมประเสริฐ, 2559) และพบว่าบ่อเลี้ยงปลานิลที่มีผักตบชวาจะมีค่าไนโตรเจนรวมและออร์โธฟอสฟอรัสต่ำกว่าบ่อที่ไม่มีพืช (Osti et al, 2020)

ปัจจุบันมีการพัฒนาและขยายการปลูกและขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำสวยงามสำหรับใช้ในการเลี้ยงปลาสวยงามมากขึ้นในอุตสาหกรรมสินค้าส่งออกของไทย พรรณไม้น้ำสวยงามส่วนใหญ่ คือพืชชั้นสูงที่เติบโตในน้ำ ซึ่งพบว่าสามารถดูดซับธาตุอาหารจากน้ำได้ดี เช่นเดียวกับพืชอื่นๆ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้เป็นพืชบำบัดน้ำเสียในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งจะช่วยให้สามารถลดปริมาณของเสียในน้ำ และยังเป็นการผลิตพันธุ์ไม้น้ำสวยงามในเชิงอุตสาหกรรมได้ด้วย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา สันตะวาใบข้าว และสาหร่ายดาวกระจายในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มกบ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกบจากฟาร์มกบเอกชนในตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง ซึ่งเลี้ยงกบลูกผสมอายุประมาณ 90 วัน ในบ่อคอนกรีตขนาด 20 ตารางเมตร ความหนาแน่นประมาณ 100-150 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้อาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงกบที่มีโปรตีน 38% ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งบริเวณจุดปลายท่อระบายน้ำทิ้งของบ่อเลี้ยงก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มาทำการเจือจางจนมีความเข้มข้น 40% ด้วยน้ำประปาที่พักจนปราศจากคลอรีนแล้ว ในอัตราส่วนน้ำประปา 60 ลิตร ต่อน้ำทิ้งจากฟาร์มกบ 40 ลิตร โดยใช้น้ำทิ้งที่เจือจางแล้วในการทดลองจำนวน 10 ลิตรต่อหน่วยทดลอง

การออกแบบระบบบำบัด

การออกแบบระบบการทดลอง ใช้ถังพลาสติกโปร่งแสงที่มีขนาดปริมาตร 10 ลิตร (ภาชนะทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ความลึกน้ำ 11 เซนติเมตร) จำนวน 15 ใบ โดยแต่ละถังปลูกพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิด ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata*) สาหร่ายคาบอมบา (*Cabomba caroliniana*) สันตะวาใบข้าว (*Blyxa echinosperma*) และสาหร่ายดาวกระจาย (*Hygrophila difformis*) โดยพรรณไม้แต่ละกอปลูกในกระถางพลาสติกโดยมีน้ำหนักสดกอละ 50 กรัม เพื่อให้มีความหนาแน่นของพรรณไม้น้ำสวยงามในการทดลอง 450-900 กรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร

(Nakphet et al., 2017; Handajani et al., 2021) ปลูกพืชโดยใช้กระถางพลาสติกและกรวดหยาบเป็นวัสดุปลูก จัดเตรียมพืชให้ปรับตัวกับระบบการทดลองโดยแช่พืชในน้ำประปาที่พักจนปราศจากคลอรีนแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนการทดลอง ส่วนชุดควบคุมเป็นถังพลาสติกมีเฉพาะกระถางพลาสติกและกรวดหยาบ เริ่มการทดลองโดยเติมน้ำเสียจากฟาร์มกบที่เจือจางแล้วปริมาตร 10 ลิตรในถังแต่ละใบ วางถังในบริเวณที่มีแสงส่องตลอดวัน

การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเริ่มต้นทดลอง และเก็บน้ำทิ้งทุกๆ 3 วันโดยใช้ขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร 1 ตัวอย่างต่อ 1 ถังทดลอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากผิวน้ำเพื่อไม่ให้มีตะกอนปนมา นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์แอมโมเนีย โดยใช้วิธี Phenol-hypochlorite ไนไตรท์ โดยใช้วิธี Diazotization (กรมประมง, 2562) ไนเตรทโดยใช้วิธี Diphenol sulfonic acid (Kuchnicki and Webster, 1986) และออร์โธฟอสเฟตในน้ำ โดย Ascorbic acid method (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545) ในกรณีที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันทีจะนำน้ำตัวอย่างไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -14 องศาเซลเซียส

การหาประสิทธิภาพในการบำบัด

นำปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต จากการวิเคราะห์มาคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดของเสียตามวิธีการของ Nakphet et al. (2017) ตามสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณของเสียในชุดควบคุม} - \text{ปริมาณของเสียในชุดทดลอง}) \times 100}{\text{ปริมาณของเสียในชุดควบคุม}}$$

การหามวลชีวภาพ

วัดมวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำสวยงามจากแต่ละหน่วยทดลองตามวิธีการของ Nhan and Tuong (2020) โดยเก็บตัวอย่างพืชทั้งต้น ล้างด้วยน้ำประปาจนไม่มีตะกอนปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ของแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดด้วย Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม Statistics Data Editor (SPSS) Version 25 (Thaksin university Ref ID: TH-03-1118) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียจากน้ำทิ้งฟาร์มเลี้ยงกบ พบว่าสาหร่ายคาบอมบา สามารถลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้สูง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดในเวลา 6 วันหลังการทดลอง (ตารางที่ 1, 2) โดยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของสาหร่ายคาบอมบาในการทดลองนี้มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียที่เคยมีรายงานในการทดลองใช้จอก แหนแดง และแหนเป็ดเป็นพืชบำบัดน้ำทิ้งในการเลี้ยงปลาตะเพียนทอง ที่พบว่าแหนเป็ดเป็นพรรณไม้น้ำลอยน้ำที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียได้ดีที่สุดโดยมีประสิทธิภาพ 51.56±13.39% (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์ และคณะ, 2553) และมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้กกรังกาบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุก (วิภาดา วงค์เรือนแก้ว และโสมนัส สมประเสริฐ, 2559) และการใช้ผักตบชวา แฝก และกกรังกาบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุก (Raharjo et al., 2018) ซึ่งสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 89.00 15.80 66.70 และ 67.0% ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าแอมโมเนียที่ลดลง อาจเกิดขึ้นจากพืชดูดซับแอมโมเนียจากน้ำทิ้งมาใช้ในการเจริญเติบโต (Nakphet et al., 2017) และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประเภท ข จะพบว่าสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจาย สามารถลดแอมโมเนียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายทิ้งได้ โดยมีค่าไม่เกิน 1.1 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) อย่างไรก็ตามพบว่าแอมโมเนียในชุดควบคุมก็มีปริมาณลดลงเช่นกัน ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย และจุลสาหร่ายที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งตามธรรมชาติ

ตารางที่ 1 ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L) ของน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ใช้พรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดบำบัดในระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
T1 ชุดควบคุม	23.06±0.63^{a}	9.95±0.41^{a}	1.43±0.66^{b}	0.02±0.02^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	23.06±0.633^{a}	9.23±1.39^{a}	0.95±0.31^{b}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	23.06±0.63^{a}	9.72±0.67^{a}	0.00±0.00^{a}	0.02±0.02^{a}	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
T4 สันตะวาใบข้าว	23.06±0.63^{a}	8.83±1.52^{a}	5.17±0.41^{c}	0.00±0.00^{a}	0.02±0.01^{b}	0.00±0.00^{a}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	23.06±0.63^{a}	9.37±0.90^{a}	0.13±0.05^{a}	0.13±0.23^{a}	0.01±0.01^{ab}	0.01±0.01^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย (%) ของพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ระยะเวลา 6 และ 9 วันของการทดลอง

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด 6 วัน	ประสิทธิภาพการบำบัด 9 วัน
T1 ชุดควบคุม	-0.13±46.65^{b}	-24.26±104.88^{a}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	31.19±21.66^{b}	100.00±0.00^{a}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	100.00±0.00^{c}	3.03±84.10^{a}
T4 สันตะวาใบข้าว	-261.00±29.06^{a}	100.00±0.00^{a}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	90.85±3.85^{c}	-548.42±1123.09^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ค่าที่ติดลบแสดงว่าไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

สำหรับการบำบัดไนไตรท์ พบว่าสันตะวาใบข้าวสามารถลดปริมาณไนไตรท์ได้มากที่สุดในเวลา 6 วัน ส่วนสาหร่ายคาบอมบามีประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรท์สูงสุด 41.32±9.82% ในระยะเวลา 9 วัน (ตารางที่ 3, 4) ทั้งนี้ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจายมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ในระยะเวลา 6 วัน (ตารางที่ 5, 6) ผลการทดลองนี้พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าการใช้แหนเป็ดบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาตะเพียนทองซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัด 70.04+6.70% (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และคณะ, 2553) ทั้งนี้ในชุดควบคุมที่ไม่มีพืช พบว่าเมื่อค่าแอมโมเนียลดลง จะมีแนวโน้มค่าไนไตรท์และไนเตรทเพิ่มขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียไนตริไฟอิง ออกซิไดซ์แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ และแบคทีเรียสกุล Nitrobactor จะย่อยไนไตรท์แล้วเปลี่ยนเป็นไนเตรท (สุภาวดี โกยดุลย์, 2549) แต่ในกรณีที่มีพืชร่วมในการบำบัดจะพบว่าทั้งแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรทมีแนวโน้มลดลงทั้งหมดเนื่องจากพืชดูดซึมมลสารดังกล่าวจากน้ำทิ้งมาใช้ในการเจริญเติบโต

ตารางที่ 3 ปริมาณไนไตรท์ (mg/L) ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ใช้พรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดบำบัดในระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
T1 ชุดควบคุม	0.01±0.01^{a}	0.02±0.00^{b}	0.03±0.01^{a}	0.02±0.00^{ab}	0.01±0.00^{a}	0.01±0.0^{a}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	0.01±0.01^{a}	0.02±0.01^{a}	0.470±0.21^{b}	0.02±0.01^{ab}	0.02±0.00^{ab}	0.04±0.01^{b}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	0.01±0.01^{a}	0.02±0.00^{ab}	1.84±0.04^{d}	0.01±0.01^{a}	0.02±0.00^{ab}	0.04±0.00^{ab}
T4 สันตะวาใบข้าว	0.01±0.01^{a}	0.03±0.01^{c}	0.020±0.01^{a}	0.04±0.01^{c}	0.02±0.01^{b}	0.05±0.02^{b}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	0.01±0.01^{a}	0.01±0.01^{a}	1.36±0.09^{c}	0.03±0.01^{bc}	0.03±0.01^{b}	0.06±0.03^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ (%) ของพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ระยะเวลา 6 และ 9 วันของการทดลอง

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด 6 วัน	ประสิทธิภาพการบำบัด 9 วัน
T1 ชุดควบคุม	12.95±23.92^{d}	8.60±22.02^{bc}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	-1477.87±686.67^{c}	17.25±29.67^{bc}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	-6027±142.77^{a}	41.32±9.82^{a}
T4 สันตะวาใบข้าว	26.95±5.01^{d}	-73.49±48.30^{a}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	-4434.98±284.50^{b}	-51.00±57.44^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ค่าที่ติดลบแสดงว่าไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 5 ปริมาณไนเตรท (mg/L) ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ใช้พรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดบำบัดในระยะเวลา 15วัน

ชุดการทดลอง	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
T1 ชุดควบคุม	11.76±2.33^{a}	14.22±1.39^{b}	21.68±2.68^{b}	12.07±1.34^{ab}	6.73±3.62^{a}	8.21±0.66^{a}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	11.76±2.33^{a}	12.73±2.06^{ab}	10.17±2.14^{a}	12.58±1.32^{b}	13.40±2.89^{bc}	26.53±9.54^{b}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	11.76±2.33^{a}	10.14±2.39^{a}	9.80±2.94^{a}	8.81±1.98^{a}	10.20±0.96^{ab}	19.91±3.22^{bc}
T4 สันตะวาใบข้าว	11.76±2.33^{a}	15.90±1.08^{b}	20.94±3.63^{b}	16.89±1.80^{c}	16.84±3.57^{c}	38.78±9.82^{c}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	11.76±2.33^{a}	10.38±1.98^{a}	11.69±1.74^{a}	15.47±2.56^{bc}	17.66±2.34^{c}	23.28±4.87^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท (%) ของพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ระยะเวลา 6 และ 9 วันของการทดลอง

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด 6 วัน	ประสิทธิภาพการบำบัด 9 วัน
T1 ชุดควบคุม	0.01±12.16^{a}	-91.06±11.11^{bc}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	53.11±9.87^{b}	-95.32±10.91^{b}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	54.79±13.57^{b}	-64.08±16.37^{c}
T4 สันตะวาใบข้าว	3.42±16.73^{a}	-131.05±14.95^{a}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	46.09±8.01^{b}	-119.23±21.18^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ค่าที่ติดลบแสดงว่าไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟตจากน้ำทิ้งฟาร์มกบ พบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีประสิทธิภาพในการลดออร์โธฟอสเฟตได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับพรรณไม้น้ำอื่นๆ ($p<0.05$) ในเวลา 6 วัน แต่ในระยะเวลา 9 วัน พบว่าสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจายมีประสิทธิภาพในการลดออโธฟอสเฟตได้ไม่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 7, 8) โดยมีค่า 66.12±10.33 %, 53.51±4.77% และ 42.05±6.16% ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประเภท ข จะพบว่าสาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจาย สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนระบายทิ้งได้ โดยมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ผลการทดลองนี้พบว่ามีประสิทธิภาพ

การบำบัดน้อยกว่าการใช้สาหร่ายหางกระรอกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่พบว่าสาหร่ายหางกระรอกกำจัดฟอสเฟตได้ดีที่สุด 86.00 % (กิตติมา วานิชกูล และคณะ, 2558) และมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้กกรังกา แฝก และผักตบชวา บำบัดนำเสียจากการเลี้ยงปลาดุกซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพ 71.2 75.4 และ 89.7% ตามลำดับ (Raharjo et al., 2018) ทั้งนี้ค่าออร์โธฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากฟาร์มกบลดลงเนื่องจากพืชที่มีการดูดซับ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืชที่นำฟอสฟอรัสใช้ในการเสริมการเจริญเติบโตของรากแก้ว รากแขนง และรากฝอย ช่วยให้รากดูดซึมน้ำและแร่ธาตุๆ ได้ดีขึ้น

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ระยะเวลา 15 วัน พบว่ามวลชีวภาพของพืชมีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอก โดยมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.81±0.23 กรัม และในชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจาย มีมวลชีวภาพลดลงโดยมีมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ -0.84±0.35 และ-1.27±0.55 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ จริยาวดี สุริยพันธุ์ และคณะ (2563) รายงานว่าปริมาณธาตุอาหาร วัสดุยึดเกาะ และปริมาณสารอินทรีย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อมวลชีวภาพของหญ้าทะเล การลดลงของมวลชีวภาพของสาหร่ายคาบอมบา และสาหร่ายดาวกระจาย อาจเกิดขึ้นได้จากทั้งปัจจัยของธาตุอาหารที่พืชได้รับที่มีปริมาณสูงเกินไป หรือมีสัดส่วนธาตุอาหารไม่เหมาะสม ตลอดจนวัสดุยึดเกาะที่ใช้ในการทดลองอาจจะไม่เหมาะต่อการเจริญของพืชดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าสันตะวาใบข้าวตายลงหมดใน 3 วันแรกของการทดลอง (ตารางที่ 9) ซึ่งเป็นไปได้ว่าพืชดังกล่าวไม่สามารถดำรงชีวิตได้ในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูง

ตารางที่ 7 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (mg/L) ในน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ใช้พรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดบำบัดในระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	0 วัน	3 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน	15 วัน
T1 ควบคุม	1.05±0.020^{a}	1.11±0.037^{b}	0.71±0.113^{b}	0.37±0.056^{b}	0.24±0.082^{ab}	0.41±0.097^{b}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	1.05±0.020^{a}	0.91±0.032^{a}	0.51±0.064^{a}	0.13±0.038^{a}	0.15±0.064^{a}	0.25±0.051^{a}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	1.05±0.020^{a}	1.13±0.059^{bc}	0.69±0.019^{b}	0.17±0.018^{a}	0.33±0.069^{bc}	0.55±0.054^{b}
T4 สันตะวาใบข้าว	1.05±0.020^{a}	1.25±0.118^{c}	1.13±0.117^{c}	0.54±0.097^{c}	0.38±0.024^{c}	0.42±0.037^{b}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	1.05±0.020^{a}	1.07±0.053^{b}	0.58±0.072^{ab}	0.21±0.023^{a}	0.37±0.029^{c}	0.42±0.099^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดประเภท ข มีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการบำบัดออร์โธฟอสเฟต (%) ของพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบที่ระยะเวลา 6 และ 9 วันของการทดลอง

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลา 6 วัน	ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระยะเวลา 9 วัน
T1 ควบคุม	-0.58±15.87^{b}	0.51±15.13^{b}
T2 สาหร่ายหางกระรอก	27.83±9.03^{c}	66.12±10.33^{c}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	3.35±2.74^{b}	53.51±4.77^{c}
T4 สันตะวาใบข้าว	-58.53±16.42^{a}	-47.07±26.18^{a}
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	18.87±10.12^{bc}	42.05±6.16^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ค่าที่ติดลบแสดงว่าไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 9 มวลชีวภาพของพรรณไม้น้ำสวยงามแต่ละชนิดก่อนและหลังการทดลอง (g)

ชุดการทดลอง	มวลชีวภาพก่อนการทดลอง	มวลชีวภาพหลังการทดลอง	มวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น
T1 ควบคุม	-	-	-
T2 สาหร่ายหางกระรอก	2.41	3.22 ± 0.23^{a}	0.81 ± 0.23^{a}
T3 สาหร่ายคาบอมบา	2.60	1.76 ± 0.35^{b}	-0.84 ± 0.35^{b}
T4 สันตะวาใบข้าว	3.35	-	-
T5 สาหร่ายดาวกระจาย	2.35	1.29 ± 0.55^{b}	-1.27 ± 0.55^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันกำกับไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มกบด้วยพรรณไม้น้ำสวยงาม 4 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายคาบอมบา สันตะวาใบข้าว และสาหร่ายดาวกระจาย พบว่า สาหร่ายคาบอมบาสามารถใช้บำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟต ได้ดีที่สุด และมวลชีวภาพของพืชที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายหางกระรอก แสดงว่าพืชสามารถดูดกลืนธาตุอาหารในน้ำทิ้งฟาร์มกบมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ และในชุดการทดลองที่ใช้สาหร่ายคาบอมบา สาหร่ายดาวกระจายมีมวลชีวภาพรองลงมา ทั้งนี้สามารถนำสาหร่ายคาบอมบามาใช้เป็นพืชบำบัดในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกบได้ในระยะเวลา 6- 9 วัน

เอกสารอ้างอิง

กิตติมา วานิชกูล, สมิง จำปาศรี, จิราพร กุลคำ, พิรุณ จันทร์เทวี และยุพาวรรณ ประเสริฐโชค. (2558). ประสิทธิภาพของสาหร่ายหางกระรอกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิชาการวิจัย มทร. พระนคร. 9, 11-18.

กรมควบคุมมลพิษ. (2561, มกราคม). ระบบบำบัดน้ำเสีย. https://www.pcd.go.th/?s=waste+water

กรมควบคุมมลพิษ. (2563, มกราคม). มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. https://www.pcd.go.th/laws/4500

กรมประมง. (2562). คู่มือการวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการตรวจรับรองมาตรฐานฟาร์ม. เชียงใหม่: หจก. วนิดาการพิมพ์.

จริยาวดี สุริยพันธุ์, อนุกูล บูรณประทีปรัตน์, วิชญา กันบัว, โสภาวดี เมืองฮาม และ ปราณี นนท์ชนะ. (2563). ปัจจัยของธาตุอาหารและซัลไฟด์ต่อมวลชีวภาพและการแพร่กระจายของหญ้าทะเลตามแนวชายฝั่ง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์, สมศรี งามวงศ์ชน และนงนุช เลาหะวิสุทธิ์. (2553). การบำบัดน้ำในการเลี้ยงปลาสวยงามโดยใช้พรรณไม้น้ำใต้น้ำ. วารสารการประมง. 63, 211-217.

วิภาดา วงค์เรือนแก้ว และโสมนัส สมประเสริฐ. (2559). ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาดุก. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 30(3), 75-83.

เหล็กไหล จันทะบุตร, จุฑารัตน์ แก่นจันทร์, พุทธชาติ อิ่มใจ, บัณฑิตา สวัสดี, ชนวรรณ โทวรรณา, สำราญ พิมราช และ วุธเมธี วรเสริม. (2564). อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงกบนาในกระชังในช่วงฤดูหนาว. วารสารเกษตรพระวรุณ. 18(1), 75-79.

สุรเสน ศรีริกานนท์. (2552). โรคกบนาจากฟาร์มเลี้ยงในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 1(3), 102-117.

สุภาวดี โกยดุลย์. (2549). เอกสารประกอบการสอน คุณภาพน้ำทางการประมง ภาคทฤษฎี. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

สุภาวดี โกยดุลย์. (2557). การกำจัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม. วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ. 2, 66-80.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. (2545). คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

Handajani, H., Adhywirawan, G., Andriawan, S., Prasetyo, D. and Mavuso, B.R. (2021). Evaluation of efficiency of Echinodorus palaefolius (J.F. Macbr.) involved in the Clarias gariepinus (Burchell, 1822) culture for water quality recovery and fish growth support. Jordan Journal of Biological Sciences. 14(5), 959-964.

Kuchnicki, T.C. and Webter, G.R.B. (1986). A comparison of HPLC analysis of nitrate in soils with the phenoldisulfonic acid and hydrazine sulfate methods. Can. J. Soil Sci. 66, 151-157.

Nakphet, S., Ritchie,R.J. and Kiriratnikom, S. (2017). Aquatic plants for bioremediation in red hybrid tilapia recirculating aquaculture. Aquaculture International. 25, 619-633.

Nhan, N. T. T. and Tuong, L. Q. (2020). Potential of Echinodorus cordifolius and Vallisneria natans in constructed wetlands for the removal of water pollution from shrimp farm effluent. Materials Science and Engineering. 991, 012034.

Osti, J.A.A., Carmo, C.F., Cerqueira, M.A.S., Giamas, M.T.D., Peixoto, A.C., Vaz-dos-Santos, A.M. and Mercante, C.T.J. (2020). Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by Eichhornia crassipes. Aquaculture Reports. 17, 100324.

Raharjo, S., Irmawati E.S.F. and Manaf, M. (2018). Constructed wetland with flow water surface type for elimination of aquaculture wastewater from catfish (Clarias gariepinus, Var). Ecological Engineering. 187, 012061.