สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้พืชน้ำในการจัดการน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

(Application of aquatic plants on the waste management in the black tiger shrimp pond)

โดย

นายวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย [1]
นางสุบัณฑิต นิ่มรัตน์ [2]
นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองกุล [3]

[1]ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[3]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

- 9 มี.ค. 2552
25 15 12

เริ่มบริการ
- 4 มิ.ย. 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง.....3

สารบัญรูป.....4

กิตติกรรมประกาศ.....6

บทคัดย่อภาษาอังกฤษและภาษาไทย.....7

บทที่ 1 บทนำ.....8

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา.....9

รายละเอียดเกี่ยวกับกุ้งกุลาดำ 9

รายละเอียดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....12

รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้พืชในการฟื้นฟูสภาพ.....20

การประยุกต์ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.....23

รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา.....28

บทที่ 3 วัสดุและอุปกรณ์.....32

บทที่ 4 วิธีการทดลอง.....34

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....39

บทที่ 6 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....64

เอกสารอ้างอิง.....68

ภาคผนวก.....71

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง....13

2 ผลกระทบของออกซิเจนน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งในบ่อ....15

3 เปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนีย (NH_3) ณ ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ ของน้ำในระดับต่าง ๆ กัน....16

4 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส....18

5 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ....20

6 หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย....23

7 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ....36

8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บตัวอย่างก่อนนำมาทำการทดลอง....40

9 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของชุดทดลองพืชทั้ง 3 ชนิด และชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....41

10 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนไทรต์ของชุดทดลองและชุดควบคุม ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....43

11 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเทรตของชุดทดลองและชุดควบคุม ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....45

12 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตของชุดทดลองและชุดควบคุม ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....47

13 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของชุดทดลองและชุดควบคุม ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....50

14 ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นของชุดทดลองและชุดควบคุม ของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....51

15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา....53

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	กุ้งกุลาดำ	10
2	ลักษณะวงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ	11
3	แผนภาพแสดงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2)	14
4	ผลของแอมโมเนียที่มีผลต่อการทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งก๊าซออกซิเจน	17
5	ต้นกก	21
6	รากห้อยและลอยอยู่ในน้ำของกระจับ	22
7	การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบบึงชีวภาพ	24
8	การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบกรองน้ำเสียด้วยหญ้า	25
9	การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบป่าชายเลน	25
10	กระจับ	26
11	(ก) จอก	27
11	(ข) แห้วทรงกระเทียม	27
11	(ค) ธูปฤาษี	27
11	(ง) กกสามเหลี่ยม	27
11	(จ) ผักตบชวา	27
12	การวางแผนการทดลองชุดที่ 1	35
13	แผนภาพการดำเนินการทดลอง	36
14	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ	42
15	ปริมาณไนไทรต์ของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ	44
16	ปริมาณไนเทรตของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ	46
17	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ	48
18	ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่บำบัดโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ	49

19 ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่บำบัดโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ.....51
20 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ.....52
21 อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.) 54
22 อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) 55
23 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.).....57
24 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) 58
25 ปริมาณออกซิเจนของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.).....59
26 ปริมาณออกซิเจนของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) 60
27 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.) 62
28 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.).....63

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้พืชน้ำในการจัดการน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สำเร็จเรียบร้อยลงได้โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 ข้าพเจ้าและคณะทำงานได้จัดสรรงบประมาณบางส่วนเพื่อสนับสนุนวิทยานิพนธ์ของ นางสาวบุญมา กรายไทยสงค์ นิสิตปริญญาโท โครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวาริชศาสตร์และภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการทดลองและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัยและคณะ

สิงหาคม 2549

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้มีการเลี้ยงอย่างกว้างขวางและมีการปล่อยน้ำทิ้งจากฟาร์มกุ้งในปริมาณที่มากลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งเหล่านั้นก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อต้องการทราบแนวทางการใช้พืชน้ำเศรษฐกิจที่พบทั่วไปในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระจับได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งเนื่องจากราคาถูก โดยทำการใส่พืชน้ำเหล่านี้ในปริมาณ 300 กรัมลงไปในบ่อทดลองขนาด 100 ลิตรที่มีดินและน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำและทดลองเป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองพบว่ากระจับมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณ BOD, ความขุ่น, แอมโมเนีย, ไนไทรต์, ไนเทรตและฟอสเฟตมีค่า 90%, 91.7%, 67.9%, 53.2%, 98% และ 70.5% ตามลำดับ นอกจากนี้กระจับมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าผักบุ้งและผักกระเฉด อย่างไรก็ตามพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดช่วยทำให้คุณภาพน้ำดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ใส่พืชน้ำโดยเฉพาะค่าพีเอช ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและอุณหภูมิ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากระจับเป็นพืชน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดสูงและเป็นพืชน้ำเศรษฐกิจที่มีราคาสูง

คำสำคัญ : **กุ้งกุลาดำ, น้ำทิ้ง; พืชน้ำ, *T. bispinosa***

Abstract

Recently, black tiger shrimp farming in Thailand have expanded and generated large amount of farm effluents on the natural water. The present study aimed to investigate the use of commonly found economic aquatic plants for treatment of shrimp culture effluents. *Ipomoea aquatica* (Morningglory), *Neptunia oleracea* (Water mimosa) and *Trapa bispinosa* (Water chestnut) were chosen for treatment of wastewater released from black tiger shrimp pond culture due to low cost of treatment. Three aquatic plants were added at the density of 300 g in the experiment tank of 100 L containing water and pond soil collected from shrimp farms. The experiments were carried out within 28 days. Results showed that *T. bispinosa* had the highest efficiency on removal of BOD, turbidity, ammonia, nitrite, nitrate and phosphate, showing average value of 90%, 91.7%, 67.9%, 53.2%, 98% and 70.5%, respectively. In addition, *T. bispinosa* showed the highest growth rate in the experiment, compared to the other two aquatic plants. All types of aquatic plants resulted in better water quality parameters (pH, dissolved oxygen and temperature) of treated tanks, compared to the controls. The obtained results point towards the potential treatment for wastewater releasing from shrimp pond due to their effectiveness on bioremediation and high value of economic aquatic plant.

Author Keywords: Black tiger shrimp, Effluents; Aquatic plants, *T. bispinosa*

บทที่ 1
บทนำ

การใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจัดเป็นการบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพ และถือได้ว่าเป็นวิธีการบำบัดโดยใช้ธรรมชาติ (Natural treatment system) ซึ่งสามารถลดต้นทุนของการใช้สารเคมีในการกำจัดสารมลพิษจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งซึ่งมีราคาแพงและอาจจะมีสารตกค้าง ส่วนการบำบัดน้ำทิ้งทางกายภาพโดยการขุดเลน แม้จะช่วยให้สภาพแวดล้อมในบ่อเหมาะสมกับการเลี้ยงครั้งต่อไปแต่ขี้เลนที่มีอยู่ในระบบจะถูกนำออกมาทิ้งนอกระบบเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อสูบน้ำมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งใหม่อีกครั้งก็จะดูดของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ ทำให้มีปัญหาต่าง ๆ ตามมาไม่จบสิ้น การบำบัดของเสียจากการเลี้ยงกุ้งด้วยพืชน้ำโดยเฉพาะการใช้พืชน้ำเศรษฐกิจจะเป็นการดูดซับของเสียที่ละลายในน้ำมาไว้ในพืช โดยที่พืชสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีในของเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโต

นอกจากนี้การใช้พืชน้ำก็ช่วยทำให้ของเสียตกตะกอนภายในบ่อก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงสามารถช่วยบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้ และยังเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการหรือเกษตรกร อย่างไรก็ตามการศึกษาในด้านนี้แม้จะได้มีผู้ศึกษาบ้างแต่ก็ไม่ใช่เป็นการศึกษาที่นำเอาพืชน้ำเศรษฐกิจที่คนบริโภคมาใช้บำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งแนวทางการใช้พืชน้ำเศรษฐกิจ เช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ ยังไม่มีการศึกษาในลักษณะสหสาขาวิชา ซึ่งวิธีการดังกล่าวอาจเป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขหรือสามารถที่จะนำมาพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อไปในอนาคต เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าการให้อาหารและการให้โพรไบโอติกที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นสามารถช่วยลดหรือบำบัดน้ำเสียได้บางส่วน

แต่อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งจากนากุ้งก็ยังต้องผ่านการบำบัดเพื่อนำมาใช้อีกครั้งเพื่อเป็นการประหยัดน้ำหรือเป็นการป้องกันการติดเชื้อโรคจากสิ่งแวดล้อมหรืออาจต้องมีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไปขึ้นอยู่กับการจัดการในแต่ละฟาร์ม แม้ว่าน้ำทิ้งจากนากุ้งจะเป็นน้ำที่ไม่สกปรกมากหรือมีสารปนเปื้อนอยู่น้อยเพียงแต่ปัญหาของน้ำทิ้งนากุ้งคือมีปริมาณน้ำทิ้งปริมาณมากในขณะที่ปล่อยออกสู่ธรรมชาติซึ่งจำเป็นต้องมีวิธีการบำบัดที่สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนเหล่านั้นก่อนปล่อยลงสู่ธรรมชาติเพื่อให้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำเศรษฐกิจได้แก่ ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatica*) ผักกระเฉด (*Neptunia oleracea*) และกระจับ (*Trapa bispinosa*) ในการลดปริมาณบีโอดี แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยทำการศึกษาอัตราการดูดซึมแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตของพืชทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

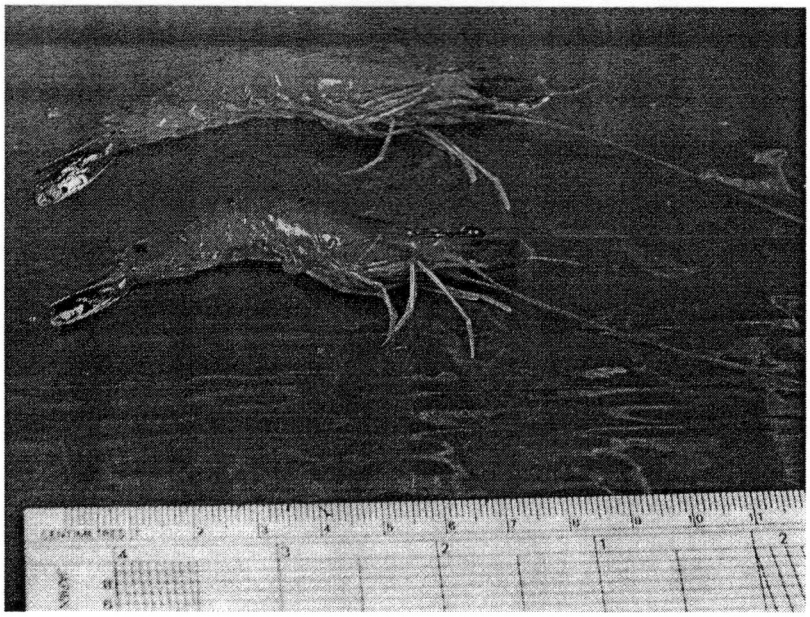
บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา จำแนกได้

1. รายละเอียดเกี่ยวกับกุ้งกุลาดำ
2. รายละเอียดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
3. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้พืชในการฟื้นฟูสภาพ
4. การประยุกต์ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
5. รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

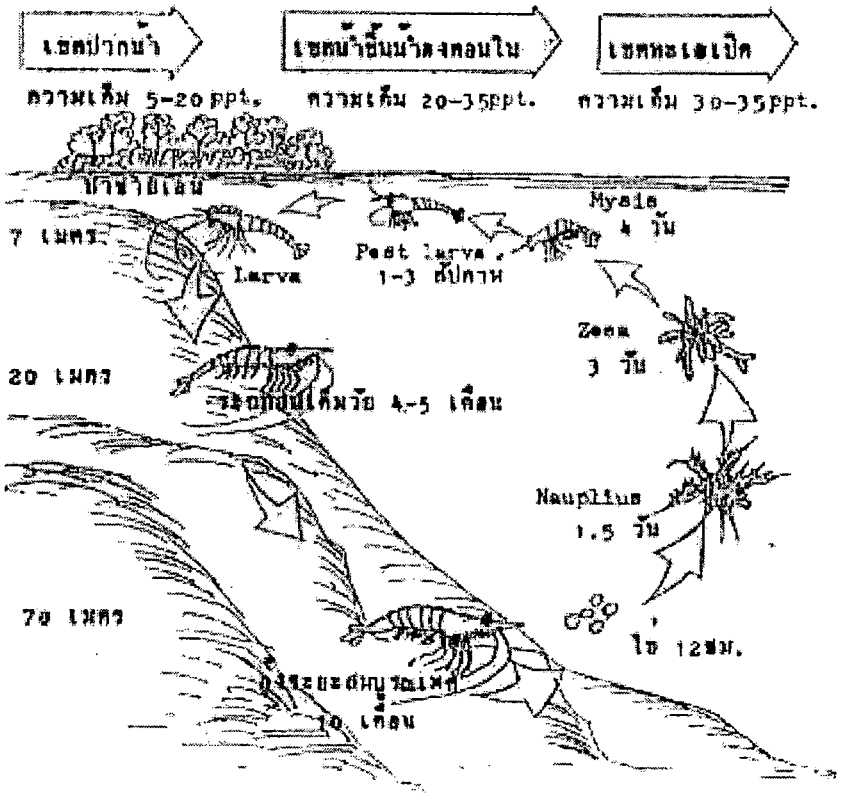
1. รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถเลี้ยงและผลิตได้เป็นอันดับ 1 ของโลก ในปัจจุบันผลผลิตมากกว่า 2 แสนตันต่อปี และส่งออกทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท เช่นในปี 2540 มีมูลค่าการส่งออก 49,374.5 ล้านบาท ในปี 2541 มีมูลค่าการส่งออก 58,597.4 ล้านบาท (กรมประมง, http://oae.go.th/statistic/yearbook/2000-01/ Section10/ sec10table103.html) และในปี 2545 มีมูลค่าการส่งออกถึง 63,826.26 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, **http://www.oae.go.th/** statistic/export/1301TP.xls) จะเห็นว่ามีมูลค่าการส่งออกมากขึ้นทุกปี สร้างอาชีพให้ผู้เกี่ยวข้อง เช่น อุตสาหกรรม ห้องเย็น การแปรรูปอาหาร อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การขนส่ง เป็นต้น การเลี้ยงกุ้งเดิมเลี้ยงแบบธรรมชาติ คือ ปล่อยให้น้ำทะเลเข้ามาในนากุ้ง แล้วให้กุ้งที่ติดมา เจริญเติบโต โดยปราศจากการให้อาหาร เมื่อโตขึ้นจึงจับขายซึ่งได้ผลผลิตไม่แน่นอน จึงเปลี่ยนมาเลี้ยงแบบพัฒนาเมื่อ 5-10 ปีที่แล้ว คือ มีการเพาะลูกกุ้งจากพ่อแม่กุ้งซึ่งจากการเลี้ยงและจากธรรมชาติ นำลูกกุ้งที่เพาะได้มาเลี้ยงในบ่อมีการจัดการที่ดี คือให้อาหาร ถ่ายเทน้ำ ให้อากาศ อย่างสม่ำเสมอ ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและผลตอบแทนสูง จึงมีการเลี้ยงมากขึ้น ในปัจจุบันมีพื้นที่ที่เหมาะสมกับการเลี้ยง ได้แก่ บริเวณชายฝั่งตะวันออก ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน หรือบริเวณที่นาดินเค็ม เสื่อมสภาพหลังแนวป่าชายเลนที่สามารถกักเก็บน้ำได้ กุ้งกุลาดำมีลักษณะทางชีววิทยา คือ เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ ลำตัวมีสีแดงอมน้ำตาล ลำตัวน้ำตาลเข้ม มีลายบาดขวางด้านหลังประมาณ 9 ลาย กรีด้านบนมี 6-8 ซี่ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กุ้งกุลาดำ (ภาพโดย สร้อยรัชนีกร)

กุ้งกุลาดำพบได้ทั่วไปในทะเลแถบเอเชีย ชอบอาศัยพื้นที่ดินทรายปนโคลน ปรับตัวได้ดีในสภาพน้ำกร่อยจนเกือบน้ำจืดได้ สามารถเลี้ยงในบ่อได้ดี การเจริญ อายุ 6 เดือน มีขนาด ประมาณ 70 กรัม ยาว 20 ซม. มีความแข็งแรงเลี้ยงง่ายกว่ากุ้งทะเลชนิดอื่น ชอบกินอาหารตามพื้นทะเล เศษซากสัตว์หน้าดิน กินได้ทั้งพืชและสัตว์แต่ชอบทางเนื้อสัตว์ที่มีกลิ่นคาวมากกว่า เมื่อลอกคราบจะกินอาหารลดลง มีวงจรชีวิต คือ เมื่อออกจากไข่จะเป็นระยะตัวอ่อน Nauplius ต่อมาเป็นระยะ Zoea ระยะ Mysis และระยะ Post Larva ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 เมื่อถึงระยะ Post Larva (PL) แล้วจะเรียกว่า ระยะ PL_1 เมื่อถึงระยะ PL ได้ 5 วันจะเรียกว่า PL_5



รูปที่ 2 ลักษณะวงชีวิตกุ้งกุลาดำ (เกรียงศักดิ์, 2543)

หลังจากระยะ PL_5 เป็นต้นไปถือเป็นการสิ้นสุดระยะวัยอ่อนช่วงต้น สามารถนำไปเลี้ยงในนาเพื่อให้โตได้ขนาดที่ต้องการได้ โดยกุ้งกุลาดำระยะ PL_{15} น้ำหนักเฉลี่ย 0.01 กรัม เมื่อเลี้ยงนาน 1 เดือนควรมีน้ำหนัก 2-4 กรัม 2 เดือน มีน้ำหนัก 10-15 กรัม 3 เดือน มีน้ำหนัก 20-25 กรัม 4 เดือน มีน้ำหนัก 30-35 กรัม น้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งควรมีคุณภาพ เช่น ค่าออกซิเจน 5-8 ppm, ความโปร่งใส 50-60 ซม., pH 6.5-9, ความเค็ม 15-25 ppt, อุณหภูมิ 18-20 °C, ไฮโดรเจนซัลไฟท์ ไม่เกิน 1.3 ppm, แอมโมเนีย ไม่เกิน 1.6 ppm เป็นต้น (เกรียงศักดิ์, 2543)

กุ้งนั้นหากกินอาหารได้มากก็จะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วดังนั้นหากเพิ่มสารอาหารบางชนิดซึ่งมีคุณสมบัติดึงดูดให้กุ้งกินอาหารเร็วและมาก ก็จะทำให้กุ้งนั้นเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีรายงานสารอาหารนั้นได้แก่ กรดอะมิโน ไกลซีน ทูรีน กลูตาเมท และบีเทน ซึ่งควรจะให้ในปริมาณพอเหมาะจึงจะดึงดูดกุ้งได้ดี และเปลือกกุ้ง ซึ่งจะช่วยให้อาหารกุ้งมีกลิ่นรสที่ดี และทำให้กุ้งโตเร็วและสีสวย และทำให้กุ้งที่ลอกคราบเปลือกแข็งเร็วขึ้นด้วย

คุณค่าทางโภชนาการของอาหารกุ้ง กุ้งนั้นต้องการคลอเลสเตอรอลสูงกว่าสัตว์น้ำอื่น เพื่อนำไปสร้างฮอร์โมนที่ช่วยในการลอกคราบ ซึ่งโภชนาการที่กุ้งกุลาดำต้องการมี โปรตีน กรดไขมัน

ที่จำเป็น ลีซีติน คลอเลสเตอรอล เกลือแร่ วิตามิน คาร์โบไฮเดรต และสารสี สำหรับวิตามินนั้น Fisher และคณะ (1957) พบว่าวิตามินเอ จำเป็นต่อการมองเห็นของกุ้งกุลาดำ Lighter และคณะ พบว่า วิตามินซี ช่วยป้องกันโรคตัวดำตายในกุ้ง และหากใส่วิตามินซี 1,000-2,000 มิลลิกรัมต่ออาหาร 100 กรัม ทำให้กุ้งโตและลอกคราบดี ด้วย นอกจากนี้ กุ้งกุลาดำยังต้องการวิตามินอีกมากมายหลายชนิด เช่น Na-Ascorbate, Inositol, Choline chloride, วิตามินดี เป็นต้น (มะลิ, 2531)

2. รายละเอียดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการเพาะเลี้ยงแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่น (Rosenberry, 1996) ดังนั้นถ้าหากไม่มีการจัดการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่างมีประสิทธิภาพอาจจะก่อให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ ของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และการจัดการเรื่องคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความสำคัญมาก โดยผู้เลี้ยงต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางในการป้องกันและแก้ไขเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและสุขภาพของกุ้ง คุณสมบัติของน้ำที่มีความสำคัญในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีดังนี้

2.1 ความเค็ม

ในความเป็นจริงแล้วกุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มได้ในช่วงกว้างและทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างช้า ๆ ได้ โดยสามารถปรับตัวอยู่ที่ความเค็มเกือบศูนย์หรือความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 ppt. ได้เป็นระยะเวลานาน แต่จะไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหัน ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงควรรักษาความเค็มของบ่อให้คงที่ หรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความเค็มก็ควรให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 10-15 ppt. แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีความเค็มอยู่ในช่วง 3-10 ppt จะทำให้การเกิดโรคกุ้งลดลง โดยเฉพาะปัญหาจากโรคแบคทีเรียเรืองแสงในบ่อกุ้ง เป็นต้น

2.2 pH หรือความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมากเพราะความเป็นกรด-ด่างของน้ำนั้นมีผลต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำชนิดอื่น ๆ เช่น มีผลต่อความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งมีผลกระทบต่อสุขภาพของกุ้งโดยตรง ดังสรุปในตารางที่ 2 ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างของน้ำในรอบวันไม่ควรแตกต่างมากกว่า 0.5 เพราะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของน้ำในรอบวันที่มากเกินไปจะมีผลทำให้กุ้งเครียดและส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้วย

ตารางที่ 1 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

ความเป็นกรด-ด่าง	ผลต่อการเจริญของกุ้ง
7.5-8.5	เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต
8.0-8.5	กุ้งเจริญเติบโตดีที่สุด
9-11	กุ้งจะเริ่มไม่กินอาหาร อ่อนแอ ติดเชื้อโรคง่าย
9-11	กุ้งจะเริ่มตาย

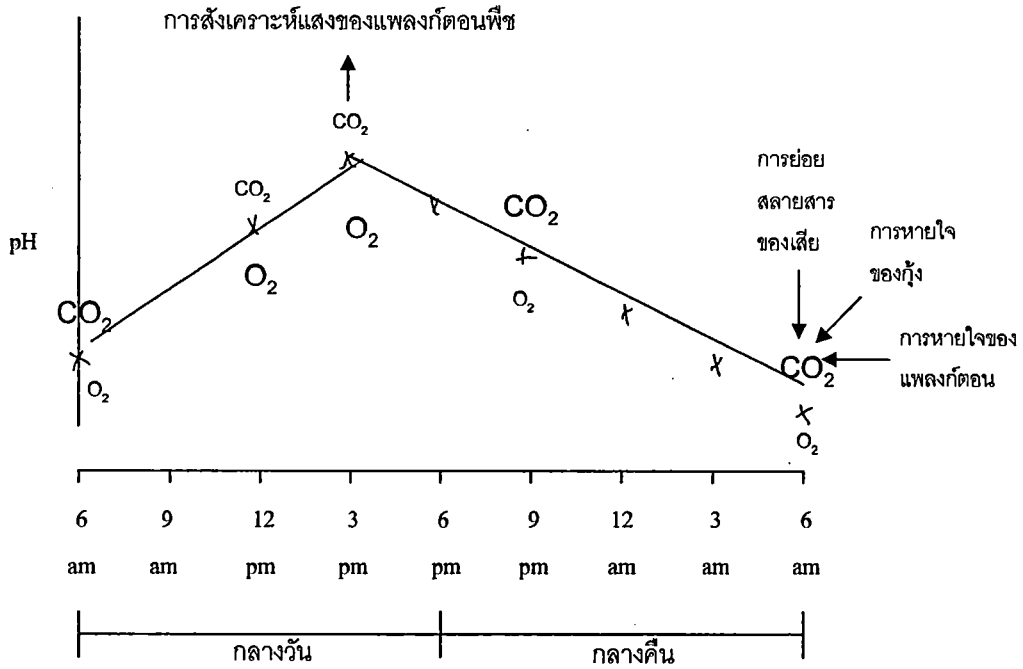
ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1. คุณสมบัติของดิน

2. การผลิตและการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับปริมาณแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืชในบ่อมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ความเป็นกรด-ด่าง ในรอบวัน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะต่ำสุดในตอนเช้ามืด เมื่อมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเน่าสลายของเสียและการหายใจของกุ้งและแพลงก์ตอนรวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในบ่อ ส่วนในตอนบ่ายค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะสูงที่สุดเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจะมีการดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 10

2.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกุ้งกุลาดำซึ่งก็เหมือนกับสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไป เพราะการขาดก๊าซออกซิเจนอย่างฉับพลันจะทำให้การหายใจแบบออกซิเดทีฟผิดปกติทำให้เกิดอนุมูลอิสระของออกซิเจน (Singlet oxygen) (Ranby and Rabek, 1978) รวมทั้ง Reactive oxygen species (ROS; Pan et al., 2003) สารเหล่านี้จะทำให้ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและนิวคลีโอไทด์ซึ่งเป็นสารที่สำคัญของเซลล์ ทั้งส่วนเซลล์เมมเบรน เอนไซม์ และดีเอ็นเอผิดปกติ (Yu, 1994) สำหรับกุ้งกุลาดำก๊าซออกซิเจนจะมีผลต่อการเจริญเติบโต การกินอาหารและสุขภาพของกุ้งกุลาดำ ถ้าปริมาณออกซิเจนไม่เหมาะสมดังตารางที่ 3 อาจจะทำให้กุ้งมีอาการตั้งแต่ยังมีอาการไม่มากจนถึงกับกุ้งตายได้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อเลี้ยงจะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง คือ มีค่าต่ำสุดในตอนเช้ามืดเนื่องจากตลอดทั้งคืนนั้นจุลินทรีย์และแพลงก์ตอนพืชจะใช้ก๊าซออกซิเจนเพื่อการหายใจรวมทั้งจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายของเสียและสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ หลังจากนั้นแพลงก์ตอนพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสงตั้งแต่ช่วงที่มีแสงสว่างขึ้นจะทำให้ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นและสูงสุดในตอนบ่ายดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงถึงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยถ้าแสดงเป็นตัวใหญ่แสดงถึงปริมาณสูง และถ้าแสดงเป็นตัวเล็กแสดงถึงปริมาณต่ำ

ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับ

1. อุณหภูมิของน้ำ
2. ความเค็มของน้ำโดยน้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยลง

ปัญหาการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะพบใน

(1) บ่อที่ปล่อยกุ้งไปในปริมาณมากหรือมีกุ้งติดมากแต่มีเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอโดยเฉพาะในช่วงเดือนสุดท้าย

(2) ในบ่อที่มีกุ้งหนาแน่นเมื่อมีการให้อาหารในปริมาณที่มากในแต่ละวัน เศษอาหารที่เหลือและของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมาจะมีปริมาณมาก ดังนั้นการดึงก๊าซออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสิ่งเหล่านี้ รวมทั้งการหายใจของแพลงก์ตอนที่มีหนาแน่นและการหายใจของกุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในบ่อ จะมีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนในตอนเช้าลดต่ำลงมามากถ้าเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอ กุ้งอาจจะลอยตามผิวน้ำในตอนกลางคืนจนถึงตอนเช้ามืด เมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลงจนอยู่ในช่วง

1.7 –2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลกระทบของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งในบ่อแสดงในตารางที่ 3

(3) ในช่วงที่กุ้งกำลังลอกคราบ ถ้าระดับก๊าซออกซิเจนต่ำกุ้งอาจจะลอกคราบแล้วตายได้ (ตารางที่ 3)

ดังนั้นควรจะทำการวัดค่าก๊าซออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอเป็นประจำวัน อย่างน้อยวันละครั้งในช่วงเช้า หรือวันละหลาย ๆ ครั้ง สำหรับบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งอย่างหนาแน่น เพื่อเป็นข้อมูลในการเลี้ยงและเป็นแนวทางในการเลี้ยงกุ้งในรุ่นต่อ ๆ ไป การวัดค่าออกซิเจนควรจะวัดในบริเวณที่ลึกที่สุดของบ่อหรือก้นบ่อ เนื่องจากกุ้งกุลาดำจะใช้เวลาส่วนใหญ่ที่บริเวณพื้นบ่อ

ตารางที่ 2 ผลกระทบของออกซิเจนในน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งในบ่อ (บรรจง, 2542)

ระดับก๊าซออกซิเจนในน้ำ (mg/L)	ผลกระทบที่มีต่อกุ้ง
สูงกว่า 12	กุ้งอาจจะลอยหัวตอนเช้ามืด
5.1 – 11.9	ปริมาณแพลงก์ตอนพืชสูง
3.6 – 5.0	เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของกุ้ง
3.1 – 3.5	มีอาการเครียด กินอาหารน้อย
ต่ำกว่า 3.0	ไม่กินอาหาร อ่อนแอ ติดเชื้อ (โรค) ง่าย
2.6 – 2.9	กุ้งลอยหัว
ต่ำกว่า 2.5	กุ้งเริ่มตาย

4.4 ก๊าซแอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำอื่น ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่นจะมีปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ก้นบ่อเป็นจำนวนมากซึ่งอาจเกิดจากขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย รวมทั้งของเสียจากสัตว์น้ำในรูปของแอมโมเนียที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำที่พบอยู่ในน้ำจะพบได้ 2 รูปแบบซึ่งจะเปลี่ยนกลับไปกลับมาตามความเป็นกรด-ด่างของน้ำและอุณหภูมิของน้ำคือ (1) แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูง (Chin and Chen, 1987; Allan et al., 1990) ถ้าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนีย (NH_3) จะสูงขึ้นทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น และ (2) แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

โดยทั่วไปจะวัดแอมโมเนียรวมทั้งสองรูป แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลดลง แอมโมเนียในรูปแอมโมเนียมอิออนจะมีในอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง ทั้งแอมโมเนียและไนไทรต์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนีย (NH_3) ณ ความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิของน้ำในระดับต่าง ๆ กัน

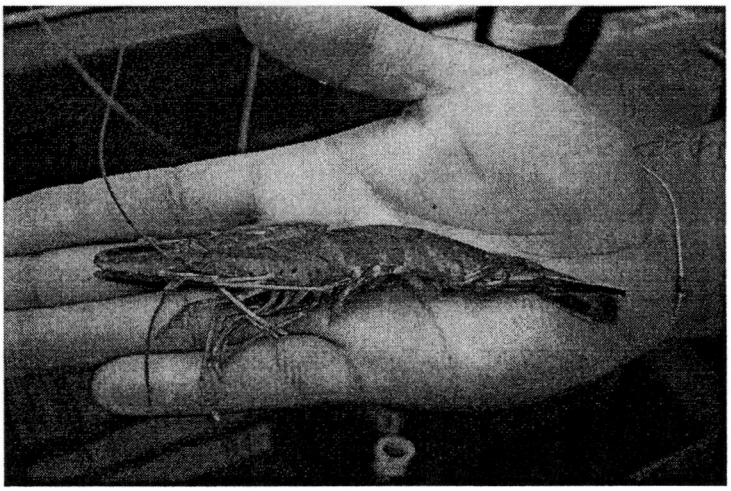
	อุณหภูมิ							
ความเป็นกรด-ด่าง	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.34	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81	0.95
7.2	0.34	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27	1.51
7.4	0.86	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00	2.36
7.6	1.35	1.59	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13	3.69
7.8	2.12	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88	5.72
8.0	3.32	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52	8.77
8.2	5.16	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41	13.22
8.4	7.94	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96	19.46
8.6	12.03	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45	27.68
8.8	17.82	20.08	22.38	24.88	27.64	30.68	33.90	37.76
9.0	25.57	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84	49.02
9.2	35.25	38.69	42.01	45.41	48.96	52.65	56.30	60.38
9.4	46.32	50.00	53.45	56.86	60.33	63.79	67.12	70.72
9.6	57.77	61.31	64.54	67.63	70.67	73.63	76.39	79.29
9.8	68.43	71.53	74.25	75.81	79.25	81.57	83.68	85.85
10.0	77.46	79.92	32.05	84.00	85.82	87.52	89.05	90.58
10.2	84.48	86.32	87.87	89.27	90.56	91.75	92.80	93.84

2.4.1 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่มีปริมาณสูง จะมีผลต่อกุ้งคือ มีผลทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งก๊าซออกซิเจน และทำให้กุ้งอ่อนแอติดโรคได้ง่าย

2.4.2 การขับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งลดลง ทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์

2.4.3 แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น

2.4.4 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์ตายโดยปกติอยู่ในช่วง 0.4 –2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ NH_3 แต่สำหรับกุ้งมีรายงานว่า แอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป NH_3 จะทำให้กุ้งตายได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4 ผลของแอมโมเนียที่มีผลทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งก๊าซออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ (ภาพโดย สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

2.5 ไนไทรต์

ความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่ไนโตรท์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบฮีโมโกลบิน ทำให้กลายเป็นเมทธีโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายก๊าซออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการตายเนื่องจากการขาดออกซิเจน และคาดว่าขบวนการเช่นเดียวกันนี้อาจเกิดกับฮีโมไซยานินของกุ้ง

ค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ของไนไทรต์ในกุ้งอยู่ระหว่าง 8.5-15.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (Armstrong, 1981) ระดับความเป็นพิษของไนไทรต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) และค่าความเป็นกรด-ด่างน้ำลดลง นอกจากนี้ความเป็นพิษของไนไทรต์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์ของความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ สำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งที่ใช้น้ำทะเลโดยตรงนั้นปัญหาของความเป็นพิษของไนไทรต์ต่อกุ้งจะน้อย แต่สำหรับการเลี้ยงกุ้งในระบบความเค็มต่ำซึ่งน้ำในบ่อมีปริมาณของคลอไรด์ในน้ำน้อย ปัญหาความเป็นพิษของไนไทรต์ในบ่อกุ้งจึงเกิดได้ง่ายกว่า ดังนั้นการเติมเกลือลงในบ่อเพาะเลี้ยงจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดค่าไนไทรต์ในบ่อที่สูงให้ลดต่ำลงได้

2.6 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งกุ้งกุลาดำด้วยและการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเกิดจากเศษอาหารที่เหลือและมีการหมักหมมรวมทั้งซากของแพลงก์ตอนพืชที่ตายเป็นจำนวนมากเกิดการย่อยสลายด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยนสารทั้งหลายที่สะสมอยู่ก้นบ่อให้เปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์ (H_2S, HS, HS และ S) ซึ่งอัตราส่วนจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ของ H_2S สูงซึ่งจะทำให้เกิดการเป็นพิษสูงขึ้นตามปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ H_2S จะลดลง แต่มี HS และ S มากขึ้นความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำก็จะลดลงด้วย

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ชะลอ, 2543)

ความเป็นกรด-ด่าง	เปอร์เซ็นต์
5.0	99.0
5.0	99.0
5.0	91.1
5.0	91.1
5.0	91.1
5.0	24.4
8.0	9.3
8.0	9.3
8.0	1.0

ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อกุ้งกุลาดำ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการขาดก๊าซออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ แต่ความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้นจะมีความรุนแรงกว่าการขาดก๊าซออกซิเจน เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปขัดขวางก๊าซออกซิเจนภายในเซลล์ทำให้ปริมาณแลกเตท (Lactate) ในเลือดสูงขึ้น ระดับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำคือ 0.033 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สัตว์น้ำสามารถอยู่ได้ในน้ำที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากจะส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว การควบคุมปริมาณการให้อาหารและการเปลี่ยนถ่ายน้ำ จะช่วยรักษาระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมได้

2.8 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คือ

(1) การเจริญเติบโตของกุ้ง อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำจะอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิของน้ำลดลงกุ้งจะกินอาหารน้อยลง และพบว่าถ้าต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียสกุ้งจะไม่กินอาหาร

(2) อุณหภูมิมีผลเกี่ยวเนื่องกับปริมาณออกซิเจนในน้ำ

(3) อินทรียสารที่เกิดขึ้นในบ่อ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในบ่อ ได้แก่

(1) ระดับความลึกของน้ำ

(2) ฤดูกาลที่เลี้ยง

(3) ช่วงเวลาของวัน การเคลื่อนไหวของน้ำในบ่อ

(4) ความโปร่งใสของน้ำ

2.9 สารแขวนลอยและสารอินทรีย์

สารแขวนลอยและสารอินทรีย์มักจะมีการปนเปื้อนมาจาก น้ำที่สูบมาจากแม่น้ำลำคลองเพื่อนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยง หากมีการปนเปื้อนในปริมาณที่มากเกินไปสารแขวนลอยต่าง ๆ จะทำให้เกิดตะกอนซึ่งจะทำให้บ่อตื้นเขิน และเหนี่ยวนำให้เกิดก๊าซพิษได้ง่าย (ชะลอ, 2543; ฝ่ายวิชาการ บริษัท ออลเวท จำกัด, 2546a)

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ลักษณะ	สภาวะที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ	สภาวะที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีที่สุด
ความเค็ม	10-15 ppt	3-10 ppt
ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ	7.5-8.5	8.0-8.5
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	> 4 มก.ต่อลิตร	-
แอมโมเนีย	< 0.4 มก.ต่อลิตร	-
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	< 0.033 มก.ต่อลิตร	-
อุณหภูมิ	25-30 °C	-
สารแขวนลอยและสารอินทรีย์	มีน้อย	-

3. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้พืชในการฟื้นฟูสภาพ

การใช้พืชในการฟื้นฟูสภาพ (Phytoremediation) เป็นวิธีทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้ ในปัจจุบันกล่าวได้ว่ายังเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ซึ่งมีผู้ให้ความสนใจกันอย่างกว้างขวางทั้งนี้เนื่องจาก Phytoremediation เป็นเทคโนโลยีสะอาดและมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารมลพิษรวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น เช่น การใช้สารเคมีในการสกัด เป็นต้น

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพสูง พืชน้ำหรือพรรณไม้น้ำ (aquatic plant, water plant หรือ hydrophytes) หมายถึงพืชที่ขึ้นอยู่ในน้ำโดยอาจจะอยู่ใต้น้ำ โผล่เหนือน้ำ ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หรือขึ้นอยู่ตามริมน้ำ ชายน้ำ ริมตลิ่ง นอกจากนี้ยังรวมถึงพวกที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่น้ำขังแฉะด้วย

พืชน้ำหรือพรรณไม้น้ำนั้นมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของการเป็นอาหาร เป็นที่อยู่อาศัยและหลบภัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำและนอกจากนี้พืชน้ำอีกหลายชนิดยังเป็นอาหารของมนุษย์อีกด้วย เช่น กระจับ บัว ผักบุ้งและผักกระเฉด บางชนิดใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับขบวนการด้านอุตสาหกรรม หรือแปรสภาพเป็นปุ๋ย (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542)

พืชน้ำเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในแหล่งที่ต่างกันไป เช่นบางชนิดเจริญเติบโตที่ระดับผิวน้ำ บางชนิดเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำ เป็นต้น ซึ่งทำให้ลักษณะทางนิเวศวิทยาแตกต่างกันไปจากลักษณะเช่นนี้สามารถทำให้มีการแบ่งประเภทของพืชน้ำดังนี้ (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2542)

1. พืชใต้น้ำ (submerged plant) ไม้น้ำประเภทนี้มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำทั้งหมด โดยอาจจะมีรากยึดเกาะอยู่กับพื้นใต้น้ำหรือไม่ยึดเกาะก็ได้ บางชนิดมีทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่วนลำต้นและใบเจริญอยู่ในระดับน้ำ บางครั้งพืชเหล่านี้จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำหรือเหนือน้ำ และเมื่อเป็นผลแล้วบางชนิดอาจจะเจริญที่ผิวน้ำหรือใต้น้ำต่อไป เช่น สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงโด เป็นต้น

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (emerged plant) พรรณไม้ประเภทนี้จัดเป็นพวกที่มีการเจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำบางส่วนและเหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากหรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ เช่น บัวต่าง ๆ กกบางชนิด ต้นเทียนนา เป็นต้น พืชประเภทนี้บางชนิดตามโคนมีเนื้อเยื่อโปร่ง (aaeronochymatous tissue) ที่ทำหน้าที่เก็บอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ เช่น ต้นเทียนนา เป็นต้น

รูปที่ 5 ต้นกก (ภาพโดย สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

3. พืชลอยน้ำ (floating plant) ไม้ประเภทนี้จัดเป็นพวกที่เจริญอยู่ระดับน้ำ โดยมีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ ส่วนลำต้น ใบ และดอก เจริญอยู่เหนือน้ำ ไม้น้ำประเภทนี้ถ้าน้ำตื้น ๆ รากอาจจะหยั่งลงพื้นดินใต้น้ำก็ได้ พืชลอยน้ำส่วนใหญ่มักจะมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่น (buoyancy leaf) เช่น ต้นผักบุ้ง มีส่วนลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดลอยไปตามผิวน้ำได้ เป็นต้น

รูปที่ 6 รากห้อยและลอยอยู่ในน้ำของกระจับ (ภาพโดย บุญมา กรายไทยสงค์)

4. พืชชายน้ำ (marginal plant) ไม้น้ำประเภทนี้มักขึ้นอยู่ตามชายน้ำ ริมตลิ่ง ชายคลอง หนองน้ำ หรือทะเลสาบ ลักษณะโดยทั่วไปมักจะมีรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดิน ส่งบางส่วนของลำต้น ใบ และดอกเหนือน้ำ พืชน้ำประเภทนี้ใกล้เคียงกับพืชที่โผล่เหนือน้ำมาก พืชบางอย่างพบว่าสามารถจำแนกได้เป็นทั้งพืชโผล่เหนือน้ำและพืชชายน้ำ เช่น ผักตบไทย ต้นโสน และกกบางชนิด

พืชน้ำมีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษโดยอาศัยปัจจัยหลัก คือ การเจริญเติบโตของพืชน้ำและจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากพืช ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการย่อย (metabolite) สารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังอาศัยหลักการของการตกตะกอน (physical sedimentation) ร่วมด้วย (อภิชัย เชียร์ศิริกุล, 2533) โดยสรุปหลักในการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งนั้นเกิดจากกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพร่วมกัน กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอนและการดูดซับสารของต้นพืช กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดซึมของพืช ส่งเสริมให้พืชน้ำมีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งได้เป็นอย่างดีโดยมีกระบวนการทางชีวภาพเป็นปัจจัยสำคัญในการลดปริมาณสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งหลักการทำงานของพืชน้ำในแต่ละประเภทก็จะมีกลไกที่คล้ายกันไม่ว่าจะเป็นพืชที่ลอยอยู่เหนือน้ำหรือพืชโผล่พ้นน้ำ

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
๓ แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ตารางที่ 6 หลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย (Stowell et al., 1981: Brix, 1997)

ส่วนของพืช	หลักการทำงานของพืช
ราก และ/หรือ ก้าน หรือลำต้นที่อยู่ในน้ำ	1. ดูดซับสารพิษและสารอาหาร 2. เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต 3. เป็นตัวกลางในการกรอง ดูดซับตะกอนและของแข็งที่อยู่ในน้ำ 4. ทำให้ความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำลดลง ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ
ก้าน, ลำต้น และ/หรือใบ ที่อยู่เหนือน้ำ	1. ลดผลของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การพัดและทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา 2. ทำให้การส่งผ่านของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง

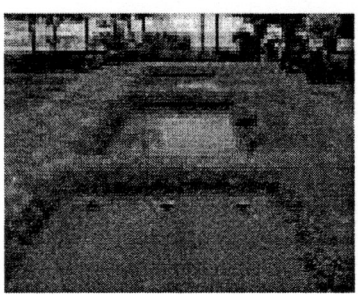
4. การประยุกต์ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

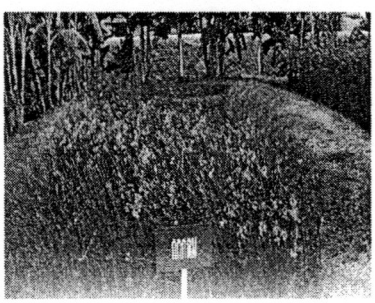
ในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพและวิธีการในการนำพืชมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในหลาย ๆ รูปแบบ เช่น การบำบัดน้ำเสียจากชุมชน การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสียจากจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นต้น ยกตัวอย่างของการใช้พืช ในการบำบัดน้ำเสียดังนี้

4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี (โครงการในพระราชดำริ (1), 2543; ศรารัตน์ ลี้ไพบูลย์, 2539) ได้ทำการทดสอบการใช้วัชพืชในการบำบัดน้ำเสียโดยมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้ คือ (ระบบบึงชีวภาพ (constructed wetland) ดังแสดงในรูปที่ 9 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ขุดเป็นบ่อดินตื้น ๆ มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับกักขังน้ำเสียในบ่ออย่างต่อเนื่อง ให้มีระดับความลึกประมาณ 15 - 30 เซนติเมตร ภายในบึงปลูกพืชประเภทต้นกก ต้นอ้อ ฯลฯ พืชที่ปลูกจะมีลักษณะลำต้นเล็ก แต่ขึ้นหนาแน่นและมีระบบรากที่แผ่กระจาย ยึดเกาะกันกับผิวดิน สามารถเจริญเติบโตได้ดี ในพื้นที่ที่มีน้ำขัง การทำงานเริ่มที่น้ำเสียถูกปล่อยลงสู่ต้นบึงจะค่อย ๆ ไหลไปท้ายบึง ในขณะที่น้ำเสียอยู่ในบึงชีวภาพนั้น ธรรมชาติ สายลม แสงแดดจะช่วยบำบัดน้ำเสียได้ส่วนหนึ่ง แต่ส่วนบำบัดที่สำคัญคือ พืชที่อยู่ในบึงจะช่วยดูดซับสิ่งสกปรกที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์

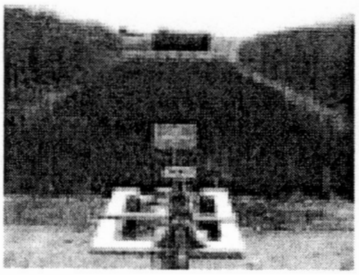
639.68
ว827ป
ฉ.3
25 15 12

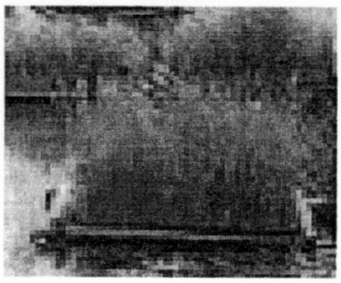
และสารอนินทรีย์ให้ลดน้อยลง นอกจากนั้นบริเวณลำต้นและรากของพืชยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ได้จับเกาะ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่เป็นความสกปรกในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้น้ำที่ไหลล้นออกจากท้ายบึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์เพื่ออุปโภค บริโภค หรือการชลประทานได้เห็นอย่างดี ระบบกรองน้ำเสียด้วยหญ้า (grass filtration) ดังแสดงในรูปที่ 10 เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีลักษณะคล้ายระบบบึงชีวภาพ (constructed wetland) แตกต่างกันที่ระบบแปลงหญ้าสำหรับกรองน้ำเสีย จะปล่อยให้น้ำเสียได้กักขังเป็นระยะ ๆ สภาพน้ำขังที่เหมาะสมคือขังน้ำที่ระดับ 30 cm. เป็นเวลา 5 วัน แล้วปล่อยแห้ง 3 วัน ภายในแปลงได้ปลูกหญ้าสำหรับการกรองสิ่งสกปรก ที่อยู่ในน้ำเสียให้ลดน้อยลง ซึ่งภายในแปลงประกอบไปด้วยหญ้าหลายชนิด เช่น หญ้าเนเปีย หญ้าแฝก หญ้านวลน้อย หญ้าขนและหญ้ารูซี่ เป็นต้น น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีคุณรูปที่ดี ระบบกรองน้ำเสียด้วยป่าชายเลน (white and red mangrove) ดังแสดงในรูปที่ 11 เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ป่าชายเลนช่วยดูดซับและกรองน้ำเสีย โดยน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียรวมจะไหลผ่านท่อแยกเข้าสู่แปลงป่าชายเลนซึ่งมีพื้นที่ 30 ไร่ และมีการปลูกไม้ประเภทโกงกาง แสมขาว แบบผสมผสานกันในลักษณะที่เป็นธรรมชาติ โดยป่าชายเลนจะสามารถกรองและดูดซับมลสาร และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย จนกลายเป็นน้ำที่มีคุณภาพดี สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร หรือปล่อยลงทะเลได้อย่างปลอดภัย ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม





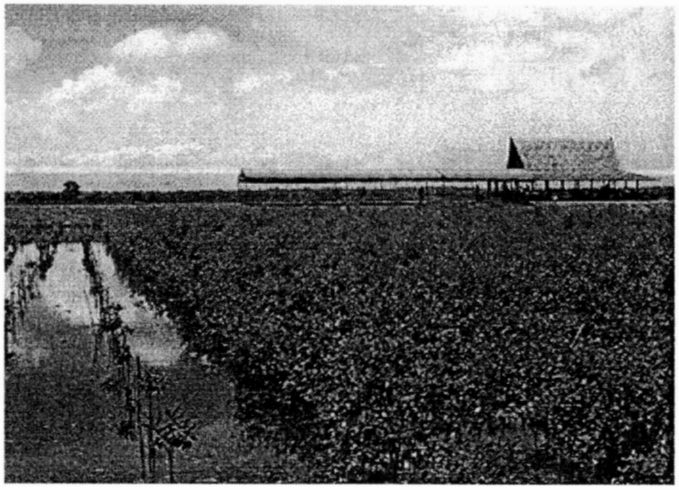
รูปที่ 7 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบบึงชีวภาพ
(www. thairath.co.th)





รูปที่ 8 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบกรองน้ำเสียด้วยหญ้า

(www. thairath.co.th)



รูปที่ 9 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัชพืชของแหลมผักเบี้ยด้วยระบบป่าชายเลน

(www. thairath.co.th)

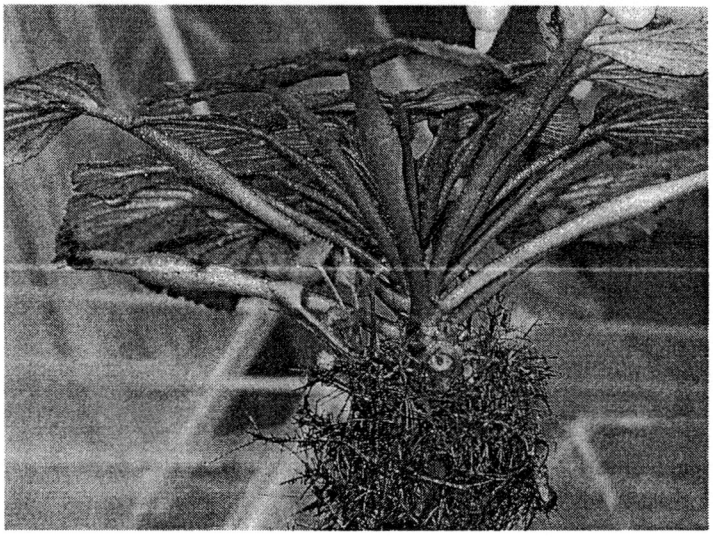
4.2 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำหนองหานโดยกรมชลประทาน

ได้นำแนวคิดของ Phytoremediation มาประยุกต์ในระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ (constructed wetland for waste water treatment) ในบริเวณหนองหาน (โครงการในพระราชดำริ (2), 2543) โดยมีการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. บริเวณหนองน้ำตื้น (marsh) มีความลึก10-20 เซนติเมตร ปลูกพืชน้ำทั้งหมด 15 ชนิด ได้แก่ ธูปฤาษี กกเล็ก กกกลม กกอียิปต์ แห้วทรงกระเทียม กกสามเหลี่ยม หญ้าปล้องละมาน แพงพวยน้ำ ตาลปัตรฤาษี เอื้องเพชรม้า พุทธรักษา บอน ขาเขียด ผักตบไทย และผักบุ้ง

ซึ่งพืชทั้งหมดนี้จะทำหน้าที่ในการลดค่าบีโอดี (BOD) ลดค่าของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากสาหร่ายสีเขียว กำจัดแบคทีเรียชนิด Fecal Coliform เปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย ลดค่าฟอสฟอรัส และดูดซับสารอินทรีย์และสารเคมีต่าง ๆ

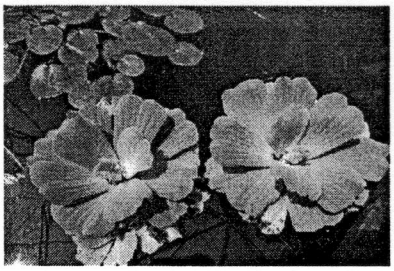
2. บ่อลึก มีความลึก 1 เมตร พืชที่ปลูกได้แก่ บัวสาย ดีปลีน้ำ ดีปลีเล็ก กระจับ และสาหร่ายหางกระรอก ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นไนเทรต (nitrification) และเปลี่ยนสารอาหารไนเทรตให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (denitrification) และลดค่าของฟอสฟอรัสในน้ำ ซึ่งจากการทำงานของระบบพบว่าสามารถลดความเน่าเสียของน้ำให้มีคุณภาพ ที่ดีขึ้นและโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพืชน้ำเจริญเติบโตสมบูรณ์เต็มที่ระบบสามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 10 กระจับ (ภาพโดย บุญมา กรายไทยสงค์)

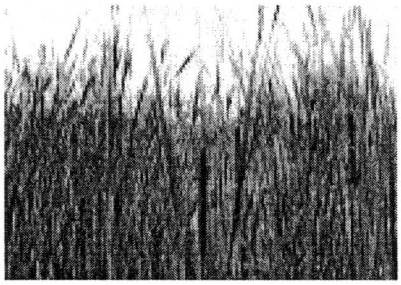
4.3 การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยพืชหลายชนิด

รายงานของจันทร์ประภา ชุมชัย (2546) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำบางชนิดซึ่งได้แก่ จอก ผักตบชวา กกสามเหลี่ยม แห้วทรงกระเทียมและธูปฤาษี (รูปที่ 12) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าผักตบชวาเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด โดยสามารถบำบัดค่าบีโอดี ไนไทรต์ ไนเทรตและออร์โธฟอสเฟตได้เท่ากับ 86.74, 26.08, 87.61 และ 87.32 % ตามลำดับ รองลงมาคือ จอก แห้วทรงกระเทียม ธูปฤาษี กกสามเหลี่ยม



รูปที่ 11 (ก) จอก (www.ku.ac.th)

รูปที่ 11 (ข) แห้วทรงกระเทียม (www.ku.ac.th)



รูปที่ 11 (ค) ธูปฤาษี (www.ku.ac.th)

รูปที่ 11 (ง) กกสามเหลี่ยม (wwwku.ac.th)

รูปที่ 11 (จ) ผักตบชวา (www. ku.ac.th)

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันมากมาย ตั้งแต่สองสามพันถึงล้านหรือมากกว่าล้านดาลตัน ในโมเลกุลของโปรตีน ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน (เรืองลักขณา, 2535) โปรตีนมีหน่วยย่อย คือ กรดอะมิโนซึ่งมีหลายชนิด กรดอะมิโนเหล่านี้จะเชื่อมโยงกันเป็นสายยาวโดยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) โดยปกติโปรตีนมักมี

จำนวนกรดอะมิโนประมาณ 100-300 หน่วยหรือโมเลกุล(เรืองลักขณา, 2535) การย่อยโปรตีนนั้นจุลินทรีย์จะทำได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่ถ้าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะได้สารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นเน่าหลายชนิด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์, idole, skatol และ mercaptans โดยที่จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนจะต้องมีเอนไซม์โปรติเอส (บัญญัติ, 2534)

แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายโปรตีนในสภาวะมีออกซิเจน ได้แก่ *Bacillus, Pseudomonas, Proteus, Staphylococcus, Micrococcus* และแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายโปรตีนในสภาวะไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium* นอกจากแบคทีเรียแล้วยังพบว่ามีราบางชนิดสามารถย่อยโปรตีนได้ เช่น *Aspergillus, Monilia* เป็นต้น

4. รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

ศศิธร พุทธวงษ์ (2539) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกกกลม (*Cyperus corymbossos*) และแห้วทรงกระเทียม (*Eleocharis dulice*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น โดยศึกษาเปรียบเทียบพืชน้ำ 2 ชนิดในการบำบัดน้ำโดยการทดลองปลูกในระดับความลึก คือ ระดับ 0.15 เมตร 0.30 เมตร และ 0.45 เมตร ผลการทดลองพบว่ากกกลมที่ปลูกที่ระดับความลึก 0.15 เมตร และแห้วทรงกระเทียมที่ปลูกในระดับความลึก 0.15 และ 0.45 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดปริมาณออร์โธฟอสเฟต ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และค่าบีโอดี ได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารในน้ำเสียที่ระดับความลึกเท่ากัน พบว่า กกกลมมีประสิทธิภาพดีกว่าแห้วทรงกระเทียม และกกกลมมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระดับความลึก 0.15 เมตร

จิตติมา วสุสิน (2536) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผักกระเฉด จอก และผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัยโดยใช้น้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ ในการทดลอง และใช้บ่อต้นแบบขนาดเล็กในการทดลอง พบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด คือ สามารถลดค่าบีโอดีได้ถึง 76.86 เปอร์เซ็นต์ ลดค่า TKN 62.56 เปอร์เซ็นต์ ลด TP ได้ 44.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผักกระเฉดและจอกสามารถลดค่า BOD ได้ 40.70 เปอร์เซ็นต์ และ 56.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถลดค่า COD ได้ 41.80 เปอร์เซ็นต์ และ 55.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) ได้ศึกษาการใช้สาหร่าย *Graclaria fisheri* ลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งโดยทดลองในบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 เมตร มีระดับความลึก 30 เซนติเมตร โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ ความหนาแน่น 0.25, 0.55 และ 1.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยความหนาแน่น 1.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตได้มากที่สุด

อนันต์ ตันสุตะพานิช และคณะ (2539) ได้ศึกษาแนวทางการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสภาวะแวดล้อมระบบรีไซเคิล โดยใช้บ่อพรรณไม้น้ำ ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผมนาง (*Graclaria fisheri*) สาหร่ายเม็ดพริกไท (*Cualerpa sp.*) และหญ้าตะการน้ำเค็ม (*Ruppia sp.*) และมีการเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลากระพงขาว ปลากระบอก ปลานวลจันทร์ทะเล และสัตว์น้ำอื่น ๆ เพื่อทดลองบำบัดเลนและน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งรุ่นที่ 2 แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในการเลี้ยงกุ้งรุ่นที่ 3 ผลการทดลองพบว่า พรรณไม้น้ำและสัตว์น้ำดังกล่าวสามารถบำบัดเลนและน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งในรุ่นที่ 2 และสามารถนำน้ำมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งรุ่นที่ 3 ได้

อภิชัย เชียร์ศิริสกุล (2533) ได้ศึกษาถึงการใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย ผลการศึกษาพบว่า ผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยได้ โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD, BOD, TKN และฟอสฟอรัสรวมทั้งหมดเท่ากับ 80.9 เปอร์เซ็นต์, 85.8 เปอร์เซ็นต์, 96.4 เปอร์เซ็นต์, 70.6 เปอร์เซ็นต์ และ 48.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

มุกดา สุขสมาน และคณะ (มปป.) ได้ทดลองใช้ผักตบชวา (*Eichornia crassipies*) ธูปฤาษี (*Typha aqustifolia* L.) และสาหร่ายเส้นด้าย (*Najas grainea* Del..) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าได้แตกต่างกัน โดยธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด

ทักษิณา สวาทพงษ์ (2541) ได้ศึกษาการใช้หญ้าทะเล (*Halophila ovalis*) ในการลดปริมาณบีโอดี สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยทดลองใช้หญ้าทะเลที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน คือ 1.0 , 2.0 และ 3.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร ในถังไฟเบอร์ขนาด 250 ลิตร และมีปริมาตรน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง 200 ลิตร พบว่าหญ้าทะเลสามารถลดปริมาณบีโอดี แอมโมเนีย ไนไทรต์, ไนเทรตและออร์โธฟอสเฟต ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และพบว่าหญ้าทะเลที่ความสามารถในการลดค่าบีโอดีได้ตั้งแต่ 56.52-80.20 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นของหญ้าทะเลที่แตกต่างกันมีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีได้ไม่แตกต่างกัน แต่ความหนาแน่นที่แตกต่างกันของหญ้าทะเลมีผลต่อการลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยพบว่าหญ้าทะเลที่ความหนาแน่น 2.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และออร์โธฟอสเฟตได้ดีที่สุด รองลงมาคือหญ้าทะเลที่ความหนาแน่น 3.0 และ 1.0 กิโลกรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ

ศิรวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ได้ศึกษาการใช้สาหร่ายทะเลในการช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง โดยการนำสาหร่าย *Caulerpamacrophysa, Sagrassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* แช่ลงในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำในปปริมาตรเริ่มต้นที่ 100 ลิตร โดยใช้สาหร่ายความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม), 1 , 5 และ 10 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไทรต์ได้ โดยสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่ความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร สามารถลด

ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไทรต์ได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ความหนาแน่น 5 และ 1 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

รตีวรรณ อ่อนรัศมี (2541) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งด้วยระบบบำบัดแบบชีวภาพ โดยใช้การเร่งตะกอนและสาหร่ายผมนางร่วมกัน การทดลองได้แบ่งเป็น 2 ชุด โดยป้อนน้ำเสียเข้าแบบ Sequence Batch System กำหนดให้การทดลองชุดที่ 1 มีระยะเวลาในการเก็บกักในถังปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง คิดเป็น organic loading 72.6 gBOD/m^3.d และระยะเวลาเก็บกักในบ่อสาหร่ายผมนางนาน 24 ชั่วโมง การทดลองชุดที่ 2 มีระยะเวลาในการเก็บกักในถังปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง คิดเป็น organic loading 108.96 gBOD/m^3.d และระยะเวลาเก็บกักในบ่อสาหร่ายผมนางนาน 24 ชั่วโมง พบว่าระบบบำบัดที่ค่า Organic loading 72.6 gBOD/m^3.d และ Organic loading 108.96 gBOD/m^3.d มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 58.10 และ 49.25 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน 42.24 และ 35.69 เปอร์เซ็นต์ และระบบยังสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ถึง 84.91 และ 73.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อภิรักษ์ จันทวงศ์ (2536) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้สาหร่ายวุ้น (*Gracilaria verrucosa*) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด คือ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยนำน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนามาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในน้ำทิ้ง ใช้เวลาในการทดลอง 10 วัน ทำการทดลอง 2 ครั้ง พบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเทรต-ไนโตรเจน ไนไทรต์-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ลดลงร้อยละ 95-100 ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงสาหร่ายวุ้นหนัก 1.0+0.05 และ 2.0+0.05 กรัม (X+S.E.) ในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา แบ่งน้ำทิ้งเป็น 2 ส่วน คือ น้ำทิ้งธรรมดาและน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 49 ไมโครมิเตอร์ ใช้เวลาในการทดลอง 4 วัน พบว่า เมื่อใช้สาหร่ายวุ้นหนัก 1 และ 2 กรัม ต่อน้ำทิ้ง 200 มิลลิลิตร เลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน สาหร่ายวุ้นสามารถลดปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งได้ดังนี้ คือ ลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลงร้อยละ 77.12 และร้อยละ 100 ไนเทรต-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 79.03 และ 96.77 ไนไทรต์-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 77.27 และ ร้อยละ 100 ส่วนฟอสเฟตลดลงร้อยละ 60.53 และร้อยละ 100 ชุดการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยเลี้ยงสาหร่ายวุ้นหนัก 1.0-0.05 และ 2.0+0.05 กรัม (X+S.E.) ในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยนำน้ำทิ้งที่ได้ไปฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ใช้เวลาในการทดลอง 4 วัน พบว่า เมื่อใช้สาหร่ายวุ้นหนัก 1 และ 2 กรัมต่อน้ำทิ้ง 200 มิลลิลิตร เลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน พบว่า สาหร่ายวุ้นสามารถลดปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งได้ดังนี้ คือ ลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลงร้อยละ 96.82 เท่ากัน ไนเทรต-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 76.92 และ 90.38 ไนไทรต์-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 68.75 และ 87.5 ส่วนฟอสเฟตลดลงร้อยละ 65.11 และ 88.37 ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการเลี้ยงสาหร่ายในคลองน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลดำแบบพัฒนา โดยเลี้ยงสาหร่ายวุ้นแบบผูกบนเส้นเชือก ใช้สาหร่ายวุ้นหนัก 100+5 กรัมต่อเส้น

เลี้ยง 30 วัน และ 200+5 กรัมต่อเส้น เลี้ยง 55 วัน พบว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในคลองน้ำทิ้งปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 5-20 ไนเทรต-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 13-22 ไนไทรต์-ไนโตรเจนลดลงร้อยละ 0-10 และฟอสเฟตลดลงร้อยละ 16-28 ตามลำดับ

Sansanayuth *et. al.* (1996) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยใช้ปรงทะเล (*Acrostchum aureum*) พบว่า ปรงทะเลสามารถลดค่าบีโอดี ค่าของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 91, 84, 48 และ 31 ตามลำดับ

Reddy & Tucker (1983) ได้ศึกษาการใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการศึกษาในอ่างทดลองขนาดความจุ 3 ลิตร ใช้น้ำที่สังเคราะห์ขึ้น พบว่า การดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวามีแนวโน้มสัมพันธ์กับผลของมวลชีวภาพของผักตบชวา และการดูดซับไนโตรเจนของผักตบชวาอยู่ในช่วง 59-542 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ (2532) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารของผักกระเฉดในบึงมักกะสัน พบว่า ผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับสารต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในน้ำหนักแห้งของผักกระเฉด ดังนี้ โปแตสเซียม 2.002 ไนโตรเจน 3.583 แคดเมียม 1.054 ฟอสฟอรัส 0.442 และแมกนีเซียม 0.176 นอกจากนี้ยังพบว่าผักกระเฉดมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ ซึ่งคิดเป็นไมโครกรัมต่อกรัมในน้ำหนักแห้ง พบว่า มีเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม เท่ากับ 1,160.27, 288.51, 111.70, 32.40, 16.15 และ 0.64 ตามลำดับ

ธงชัย ภู่วชิรานนท์ (2526) ได้ทดลองปลูกผักบุ้งและผักกระเฉดในสารละลายที่มีความเข้มข้นของตะกั่วที่แตกต่างกัน พบว่า การสะสมตัวของตะกั่วในผักทั้ง 2 ชนิด ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและอายุของพืช โดยผักกระเฉดจะมีการสะสมสารตะกั่วมากกว่าผักบุ้งในสภาวะเดียวกัน

บทที่ 3
วัสดุและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำ ใช้ขวดพลาสติกชนิด Polyethylene
ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2. เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1.1 เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ YSI 58

1.2 เครื่องวัดความเค็มของน้ำ YSI 85

1.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

1.4 เครื่องวัดค่าความขุ่นของน้ำ

1.5 เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำ

1.6 UV/VIS Spectrophotometer (Milton Roy 1001 plus)

1.7 เครื่องชั่งแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Automatic balance)

1.8 เครื่องชั่งแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Automatic balance)

1.9 ตู้อบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (hot air oven)

2.10 กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

2.11 โถดูดความชื้น (Desiccator)

2.12 เครื่องแก้วต่างๆ

3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง

3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย

3.1.1 Sodium hypochlorite

3.1.2 Sodium hydroxide

3.1.3 Sodium citrate

3.1.4 Sodium nitropusside

3.1.5 Phenol

3.1.6 Ammonium chloride

3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์

3.2.1 Sulphanilamide

3.2.2 N-(1-Naphthyl) ethylenediamine dichroride

3.2.3 Sodium Nitrite ($NaNO_2$)

3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท

3.3.1 Sodium arsenite

3.3.2 Brucine sulfate

3.3.3 Sulfanilic acid

3.3.4 Sulfuric acid

3.3.5 Sodium chloride

3.3.6 Possium nitrate (KNO_3)

3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต

3.4.1 Ammonium molybdate

3.4.2 H_2SO_4

3.4.3 Ascorbic acid

3.4.4 Potassium antimonyl-tartrate

3.4.5 Potassium dihydrogen phosphate

4. อุปกรณ์สำหรับตู้ทดลอง

4.1 ตู้กระจกขนาด 75X40X40 เซนติเมตร จำนวน 12 ตู้

4.2 ถังไฟเบอร์ขนาดความจุ 5,000 ลิตร จำนวน 2 ถัง

4.3 ถังไฟเบอร์ขนาดความจุ 3,000 ลิตร จำนวน 3 ถัง

4.4 เครื่องสูบน้ำ 1 เครื่อง

5. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืช

5.1 มีด

5.2 ถังพลาสติก

6. อุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนักพืชตัวอย่าง

6.1 เครื่องชั่ง

6.2 ตะแกรงพลาสติกสำหรับวางพืชทดลอง

บทที่ 4
วิธีการทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพของพืชเศรษฐกิจ 3 ชนิดคือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

ในการทดลองได้ทำการออกแบบการทดลองดังนี้

1. เก็บน้ำตัวอย่างจากฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาใน อ. บางน้ำเปรี้ยว จ. ฉะเชิงเทรา (รูปที่ 9)

2. ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ภาคสนามดังนี้ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

3. เก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณของค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 5 จุด จุดละ 3 ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 10

4. ทำการเก็บน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องสูบน้ำ สูบน้ำจำนวน 5,000 ลิตร ใส่ในถังขนาดใหญ่ (ผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 37 ไมครอน) และนำน้ำที่ได้มาถ่ายใส่ตู้กระจก ตู้ละ 100 ลิตร จำนวน 12 ตู้

5. จัดการทดลองออกเป็น 4 treatment treatment ละ 3 ซ้ำ (รูปที่ 11) ดังนี้

   treatment ที่ 1 เป็นชุดควบคุม (Control) ไม่ใส่พืชชนิดใดเลย

   treatment ที่ 2 ใส่ผักบุ้งที่ความหนาแน่น 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร

   treatment ที่ 3 ใส่ผักกระเฉดที่ความหนาแน่น 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร

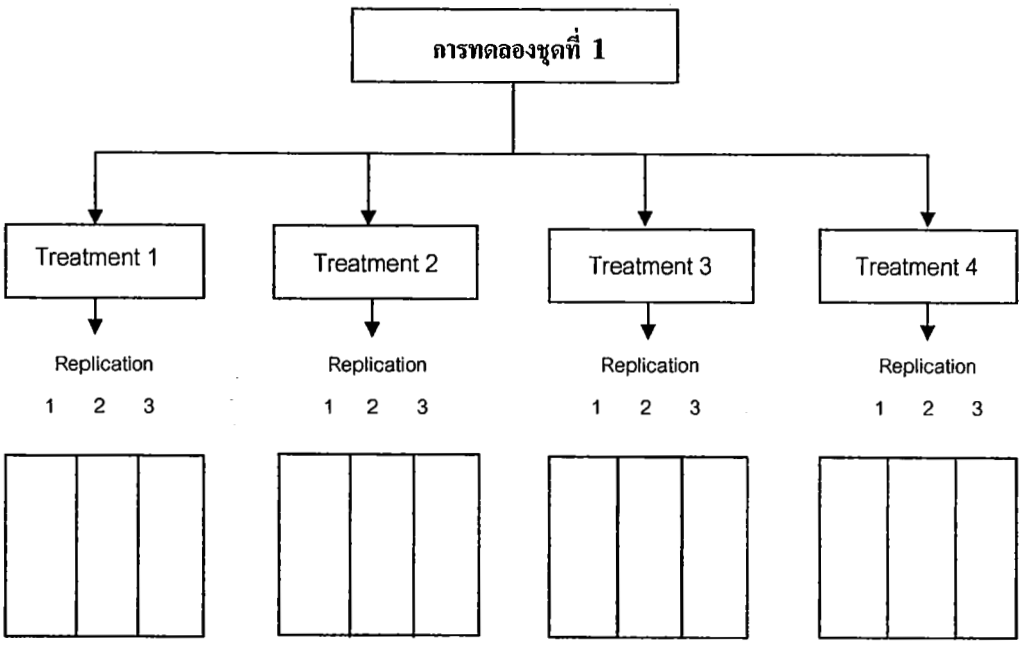
   treatment ที่ 4 ใส่กระจับที่ความหนาแน่น 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร

6. ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาหลังการทดลอง

7. เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ก่อนและหลังทำการศึกษา

2. การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในการทดลองทำการเก็บตัวอย่างน้ำวันละ 2 ครั้ง เวลา 07.00 น. และ 19.00 น. เป็นเวลา 15 วัน สำหรับค่าบีโอดีที่จะทำการตรวจวัดจะเก็บวิเคราะห์ 3 ครั้ง ได้แก่วันที่เริ่มเก็บน้ำตัวอย่าง ในวันที่ 1 วันที่ 5 และวันที่ 15



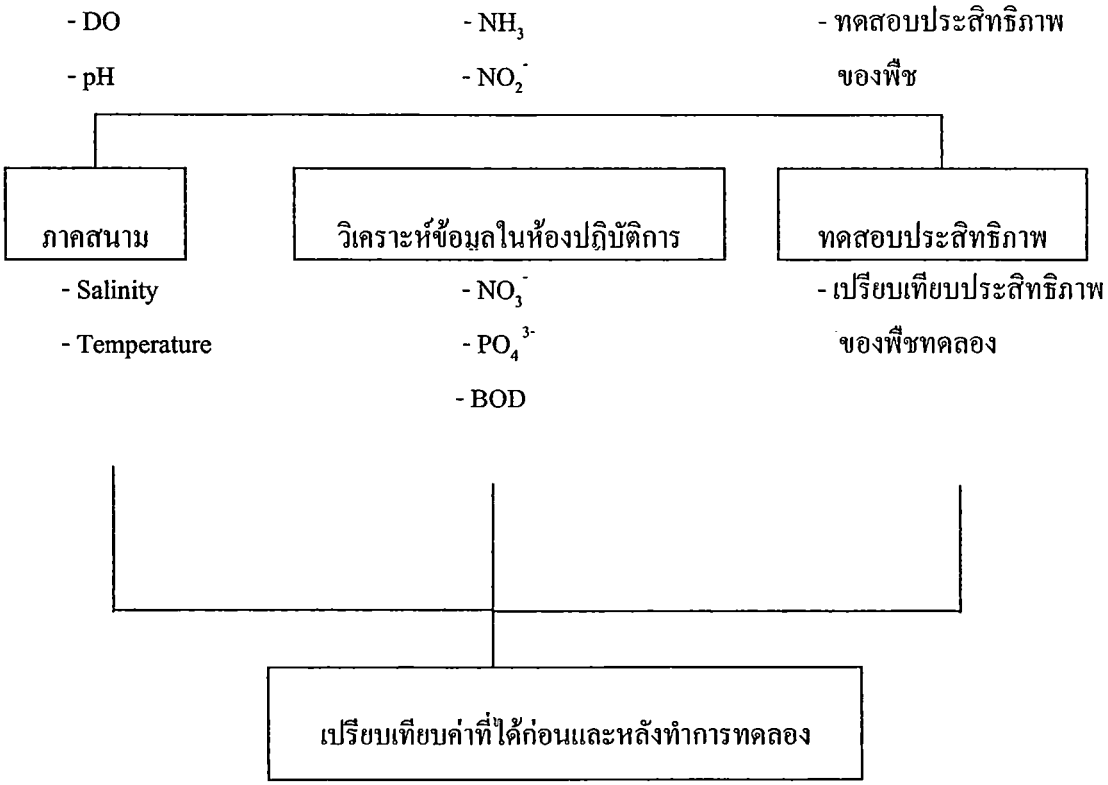
รูปที่ 12 การวางแผนการทดลองชุดที่ 1

Treatment ที่ 1 control (ไม่ใส่พืช)

Treatment ที่ 2 ชุดทดลองที่ใส่ผักบุ้ง 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร

Treatment ที่ 3 ชุดทดลองที่ใส่ผักกระเฉด 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร

Treatment ที่ 4 ชุดทดลองที่ใส่กระจับ 2 กิโลกรัม/ตารางเมตร



รูปที่ 13 แผนภาพการดำเนินการทดลอง

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 7 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

Parameter	Methods
pH	pH meter
Temperature	Thermometer
Salinity	Reflecto-salinometer
DO	DO meter
BOD	Azide modification method
Ammonia	Colorimetric method
Nitrite	Colorimetric method
Nitrate	Colorimetric method
Phosphate	Colorimetric method

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 treatment ซึ่งแต่ละ treatment จะมี 3 ซ้ำ นำข้อมูลของซ้ำในแต่ละ treatment มาหาค่าเฉลี่ย และจะถือเอาค่าเฉลี่ยที่ได้นี้เป็นตัวแทนในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่จะทำการศึกษาต่อไป การศึกษาในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ ศึกษาประสิทธิภาพของผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ ในการลดปริมาณบีโอดี แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต ในน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยใช้สูตรที่ 1 (ศศิธร พุทธวงษ์, 2539)

สูตรที่ 1

$$E\ (\%) = \frac{Ci - Cf}{} \times 100$$

E = ประสิทธิภาพ (Efficiency)

Ci = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

Cf = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

หลังจากนั้นศึกษาอัตราการดูดซึมแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต ของผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ โดยใช้สูตรที่ 2 (Lobban *et. al.*, 1985)

สูตรที่ 2

$$S = (Ni - Nf)\ Vol/w$$

S = อัตราการดูดซึม

Ni = ปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

Nf = ปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งจากการเพาเลี้ยงกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Vol = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง

W = น้ำหนักเปียกของพืชทดลอง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ พิสัย (Range), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด (Maximum), ค่าต่ำสุด (Minimum) และส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน (Standard deviation) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำเสนอในรูปของตารางและกราฟ

2. สถิติวิเคราะห์ ใช้โปรแกรม SPSS for window version 7.5 ในการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance หรือ One-way ANOVA) ในการทดสอบความแตกต่างของคุณลักษณะของน้ำ ซึ่งได้แก่ บีโอดี แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรตและฟอสเฟต ระหว่างตู้ทดลองที่มีพืชแตกต่างกัน (ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ) เมื่อพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างตู้ทดลองแล้วจะทำการทดสอบด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ซึ่งจะทำให้ทราบว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดมีความแตกต่างกัน

บทที่ 5

ผลการทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพของพืชเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

การศึกษาการใช้พืชเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ ซึ่งเป็นพืชที่มักพบในบ่อพักน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่ความหนาแน่น 300 กรัมต่อตู้ทดลอง โดยนำตัวอย่างน้ำทิ้งและดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่กำลังเลี้ยงกุ้งกุลาดำระยะเวลา 107 วัน จากจังหวัดฉะเชิงเทราที่มีคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บดังสรุปในตารางที่ 8

หลังจากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพของพืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยการวัดปริมาณบีโอดี ความขุ่น แอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต เป็นระยะเวลา 28 วัน ร่วมกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 28

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บตัวอย่างก่อนนำมาทำการทดลอง

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ		
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรด-ด่าง	8.48-9.54	8.74	6.5-9.0[b]
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.00-32.90	32.48	<33[a]
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	0.9	0.9	29-35[a]
ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.40-9.45	7.97	>4[a]
ความขุ่น (NTU)	39.01-42.41	41.13	-
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	32.13-33.04	32.59	<20[b]
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.40-0.72	0.70	<0.4[a]
ไนไทรต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.11-0.27	0.21	-
ไนเทรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.97-1.95	1.55	-
ฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.08-1.58	1.73	<0.4[b]

หมายเหตุ a ค่ามาตรฐานน้ำทะเลชายฝั่งเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2538)

b ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง (2546)

จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บน้ำตัวอย่างก่อนนำมาศึกษา พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าความเค็ม และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งของกองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง แต่มีปริมาณบีโอดี แอมโมเนีย และฟอสเฟต สูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ซึ่งถ้าหากปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด จะก่อให้เกิดการสะสมของสารอาหารในแหล่งน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้แพลงก์ตอนและพืชน้ำมีการเจริญเติบโตเกินกว่าแหล่งน้ำจะรองรับได้ (Eutrophication) รวมทั้งทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจนแหล่งน้ำเน่าเสียในที่สุด ดังนั้นน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างนี้เหมาะต่อการนำมาทดลองในครั้งนี้

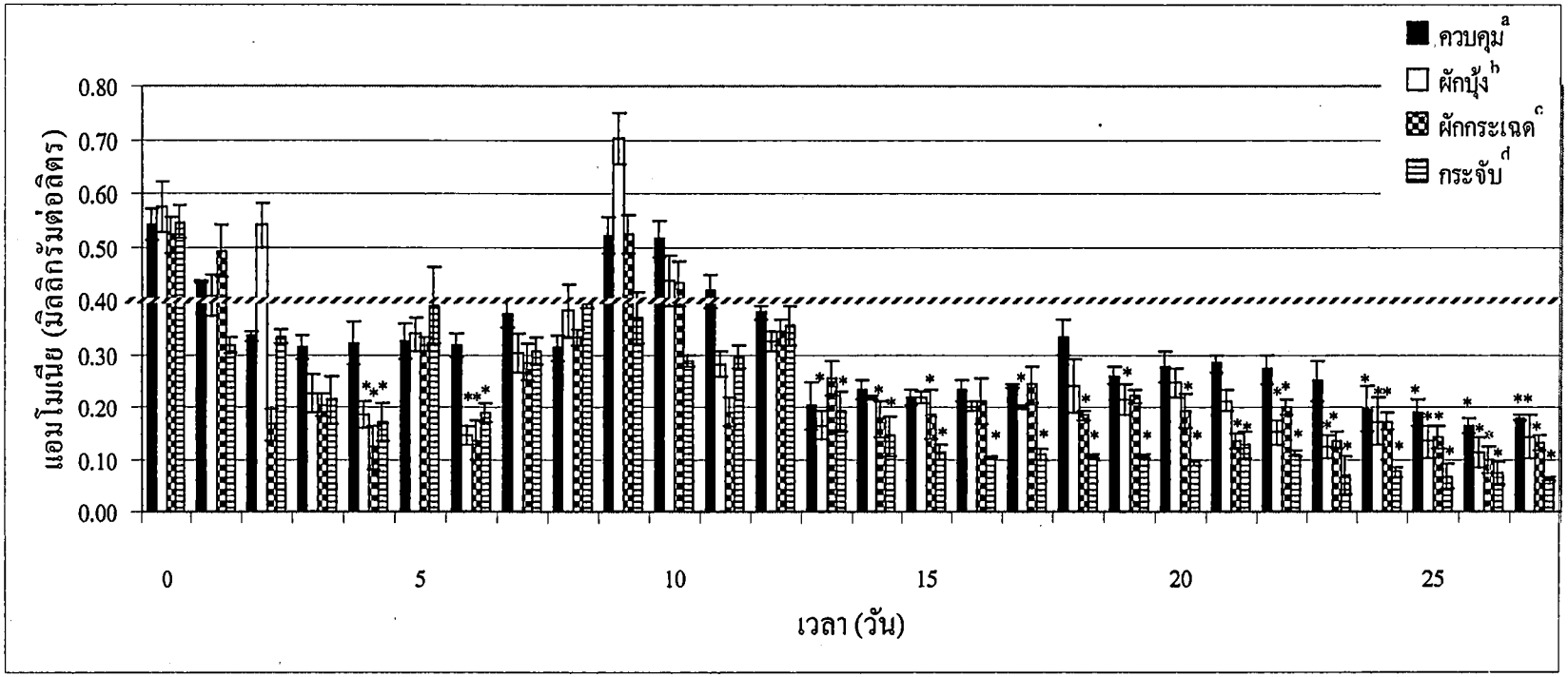
1.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.5234-0.5742 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.06-0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งชุดทดลองที่มีกระจับมีปริมาณแอมโมเนียต่ำที่สุด (0.06 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้ายของการทดลอง) โดยตลอดระยะเวลาการทดลองชุดทดลองพืชทั้ง 3 ชนิดและชุดควบคุม มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไปในทิศทางเดียวกัน ในระยะแรกแอมโมเนียมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา จนกระทั่งในวันที่ 9 ของการทดลองปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงที่สุดคือ 7.13 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดทดลองผักบุ้ง หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกชุดการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งกระจับเป็นพืชทดลองที่สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้มากที่สุด คือ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ผักกระเฉด 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ผักบุ้ง 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุม 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 14 ซึ่งสามารถคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดโดยแสดงผลในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของชุดทดลองพืชทั้ง 3 ชนิดและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	0.54	0.18	66.95
ผักบุ้ง	0.57	0.14	75.10
ผักกระเฉด	0.54	0.13	75.25
กระจับ	0.54	0.06	88.78

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่ากระจับเป็นพืชทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดปริมาณแอมโมเนียโดยมีค่าเท่ากับ 88.78 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือผักกระเฉด ผักบุ้ง และชุดควบคุมซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 75.25, 75.10 และ 66.95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 30 พบว่าชุดทดลองพืชและชุดควบคุมสามารถลดปริมาณแอมโมเนียให้มีค่าลดต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (<0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) ตั้งแต่วันที่ 12 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ถึงแม้ว่าชุดควบคุมจะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียให้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานได้แต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าในชุดทดลองพืชอื่น ๆ โดยจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าปริมาณแอมโมเนียมีความแตกต่างกันตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืชทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$



รูปที่ 14 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

(ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.) ; ⁄⁄⁄⁄⁄⁄⁄⁄ ค่ามาตรฐานแอมโมเนีย < 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีปริมาณแอมโมเนียแตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

(a, b, c, d) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณแอมโมเนียมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

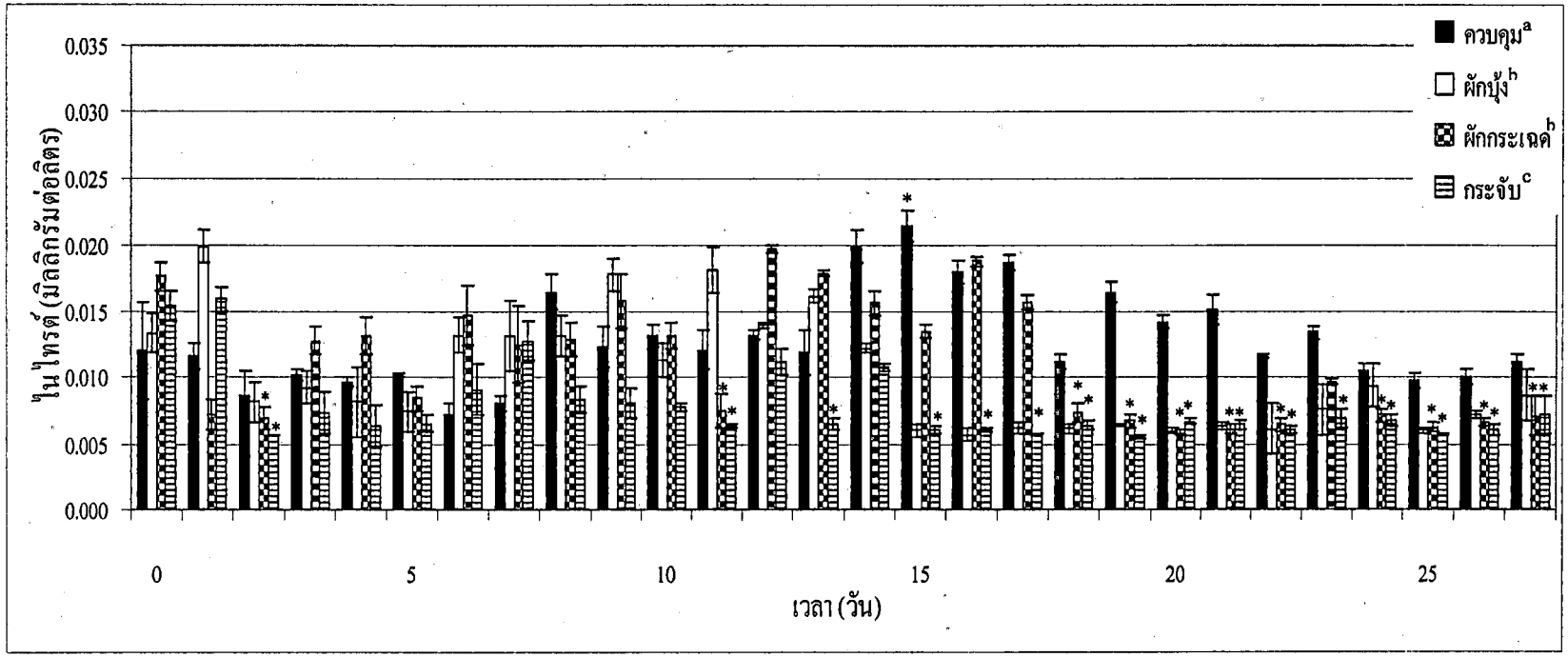
1.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนไทรต์

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนไทรต์ พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.0121-0.0177 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณไนไทรต์อยู่ในช่วง 0.0071-0.0112 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในช่วงแรกไนไทรต์มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา และในวันที่ 15 ของการทดลองปริมาณไนไทรต์ในชุดทดลองเริ่มลดลงและมีปริมาณน้อยกว่าในชุดควบคุมจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง และพืชทดลองที่มีความสามารถในการลดปริมาณไนไทรต์ได้มากที่สุด (วันที่ 27 ของการทดลอง) ได้แก่ ผักกระเฉด รองลงมาคือ กระจับ และ ผักบุ้ง โดยมีค่าเท่ากับ 0.0071, 0.0072 และ 0.0087 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 15 เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดสามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนไทรต์ของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ปริมาณไนไทรต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	0.0121	0.0112	7.18
ผักบุ้ง	0.0131	0.0087	34.91
ผักกระเฉด	0.0177	0.0071	59.81
กระจับ	0.0152	0.0071	53.24

จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าผักกระเฉดและกระจับมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนไทรต์ค่อนข้างใกล้เคียงกันคือมีค่าเท่ากับ 59.81 และ 53.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ผักบุ้ง 34.91 และชุดควบคุม 7.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนไทรต์ตลอดระยะเวลาในการทดลองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งกำหนดให้ไนไทรต์มีค่าต่ำกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (สินีนุช ศิรวุฒินานนท์, 2535) อย่างไรก็ตามปริมาณไนไทรต์ในชุดทดลองพืชมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมอย่างชัดเจนและพบว่าปริมาณไนไทรต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ในชุดทดลองพืชต่าง ๆ และชุดควบคุม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 15 ปริมาณไนไทรต์ของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักปุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีปริมาณไนไทรต์แตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

(a, b, c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณไนไทรต์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

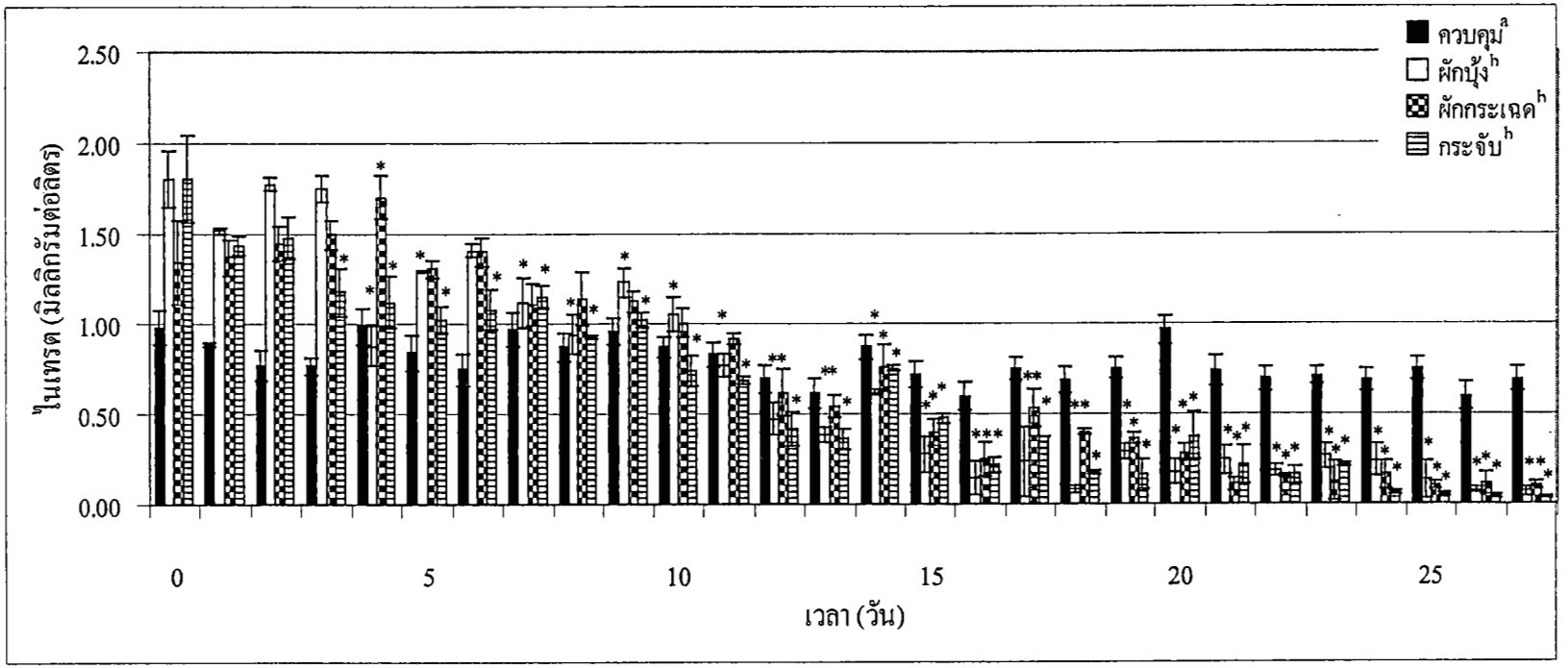
1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนเทรต

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนเทรต พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 0.98-1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณไนเทรตอยู่ในช่วง 0.04-0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณไนเทรตในชุดควบคุมมีปริมาณค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อยเมื่อเริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ส่วนในชุดทดลองพืชมีปริมาณไนเทรตลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลอง และพืชทดลองที่มีความสามารถในการลดปริมาณไนเทรตได้มากที่สุด ได้แก่ กระจับ รองลงมาคือ ผักบุ้ง และผักกระเฉด ดังนี้ 0.04, 0.06 และ 0.10 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 16) เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเทรตของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ปริมาณไนเทรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	0.98	0.69	29.59
ผักบุ้ง	1.80	0.07	96.17
ผักกระเฉด	1.34	0.10	92.15
กระจับ	1.83	0.04	97.97

จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่ากระจับ ผักบุ้ง และผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเทรตได้ใกล้เคียงกันมากคือ 97.97, 96.17 และ 92.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเพียง 29.59 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าค่ามาตรฐานน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืดไม่ได้กำหนดค่าไนเทรตในแหล่งน้ำแต่เกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ (สินีนุช ศิรวุฒินานนท์, 2541) ได้กำหนดให้มีไนเทรตไม่เกิน 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าในชุดควบคุมตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองปริมาณไนเทรตมีค่าเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งค่อนข้างสูง ส่วนในชุดทดลองพืชพบว่าปริมาณไนเทรตมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาโดยตั้งแต่วันที่ 16 ปริมาณไนเทรตลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งและเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณไนเทรตมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ รวมทั้งพบว่าปริมาณไนเทรตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืช



รูปที่ 16 ปริมาณไนเทรตของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีปริมาณไนเทรตแตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

(a, b) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณไนเทรตมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

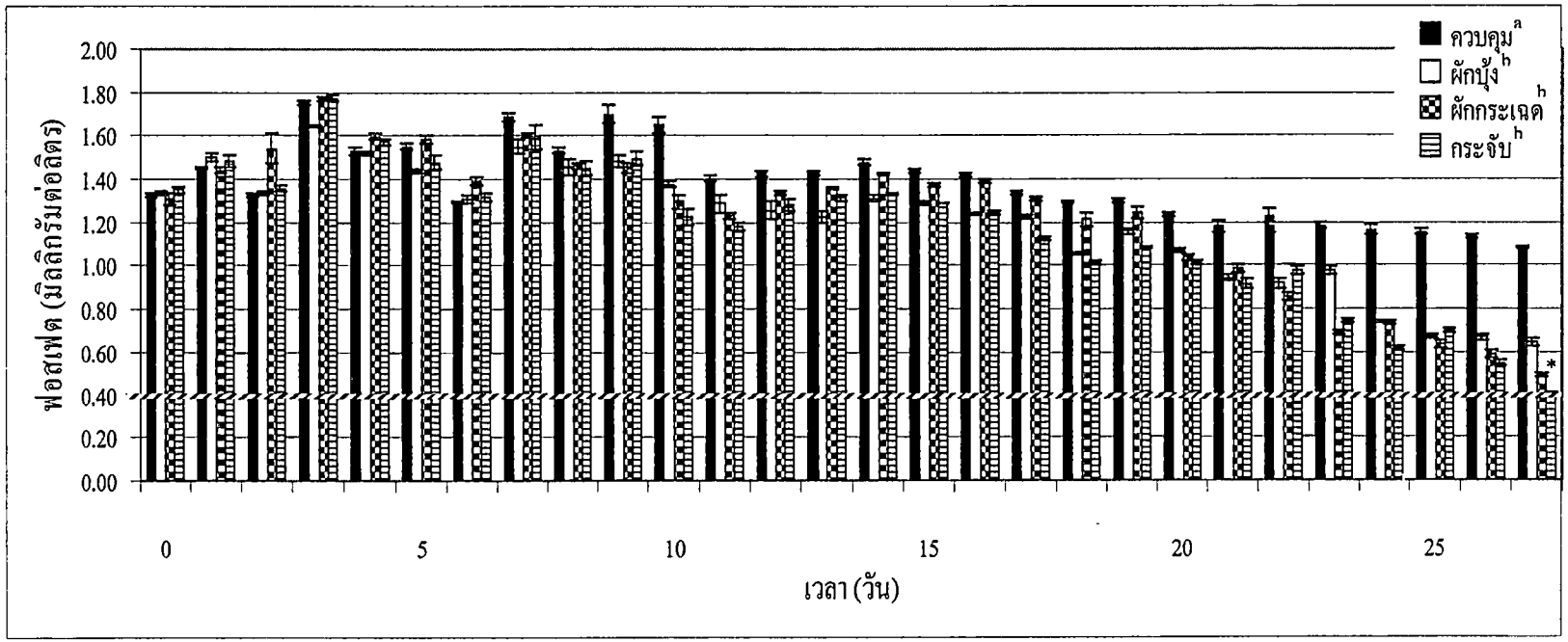
1.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟต

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 1.3072-1.3508 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.3989-1.0840 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในระยะแรกฟอสเฟตมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือมีการเพิ่มขึ้น ลดลงและคงที่จนกระทั่งในวันที่ 17 ฟอสเฟตเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในชุดทดลองพืช ส่วนในชุดควบคุมฟอสเฟตมีปริมาณลดลงเล็กน้อยและมีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าในชุดทดลองพืชตลอดระยะเวลาการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพืชที่มีความสามารถในการลดปริมาณฟอสเฟตได้มากที่สุดได้แก่ กระจับ รองลงมาคือ ผักกระเฉด ผักบุ้ง และชุดควบคุม (ดังแสดงในรูปที่ 17) เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดสามารถแสดงได้ในตารางที่ 12 ดังนี้

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ปริมาณฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	1.33	1.08	18.42
ผักบุ้ง	1.34	0.63	51.77
ผักกระเฉด	1.33	0.44	62.75
กระจับ	1.31	0.39	18.42

จากตารางที่ 12 พบว่ากระจับเป็นพืชที่ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณฟอสเฟตคือ 70.47 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ผักกระเฉด ผักบุ้ง และชุดควบคุมดังนี้ 62.75, 51.77 และ 18.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้งยังพบว่าปริมาณฟอสเฟตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ตามชนิดของพืชและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง



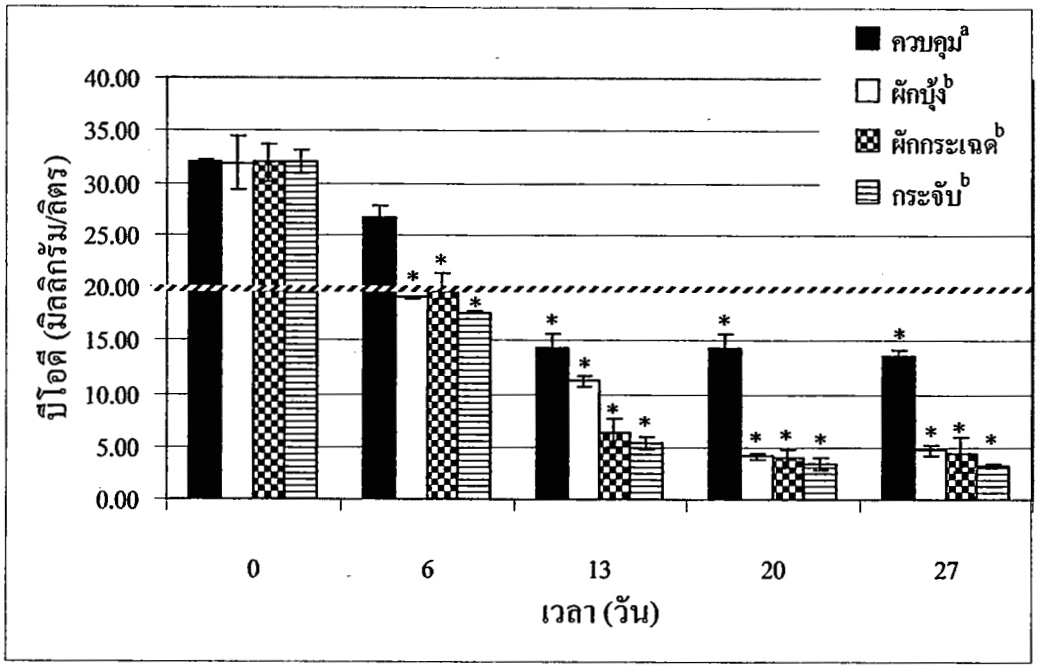
รูปที่ 17 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือ[illegible]; ค่ามาตรฐานฟอสเฟต < 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมประมง, 2546))

* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีปริมาณฟอสเฟตแตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

(a, b) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณฟอสเฟตมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

1.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี

พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 31.89-32.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 3.22-13.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกชุดการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 6 ของการทดลองพบว่าในชุดทดลองพืชทั้ง 3 ชนิด มีค่าบีโอดีต่ำกว่าในชุดควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 18 อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาในการทดลองชุดทดลองพืชมีค่าบีโอดีต่ำกว่าชุดควบคุม โดยพืชทดลองที่มีความสามารถในการลดปริมาณบีโอดีได้มากที่สุด ได้แก่ กระจับมีรองลงมาคือ ผักกระเฉด ผักบุ้ง และชุดควบคุม ดังนี้ 3.22, 4.61, 4.72 และ 13.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าเท่ากับ 89.94, 86.50, 85.21 และ 57.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งพบว่าค่าบีโอดีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ในระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและชนิดของพืช



รูปที่ 18 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่บำบัดโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

---- ค่ามาตรฐานบีโอดี <20 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมประมง, 2546)

* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีปริมาณบีโอดีที่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ และมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

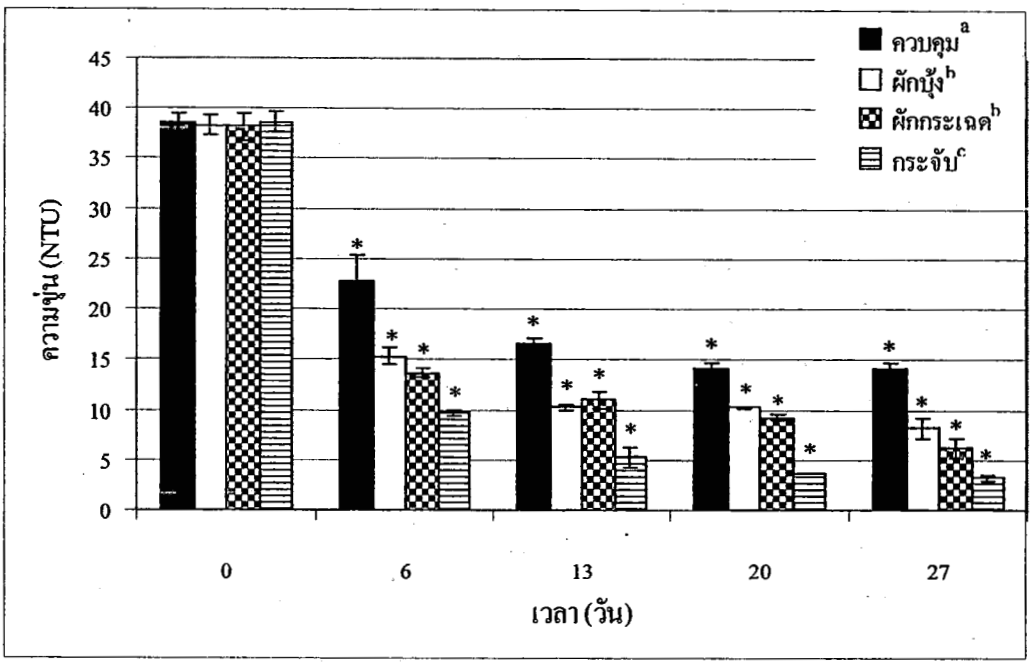
(a, b) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ทำให้ปริมาณบีโอดีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ปริมาณบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	31.91	13.58	57.54
ผักบุ้ง	31.89	4.72	85.21
ผักกระเฉด	31.93	4.31	86.50
กระจับ	32.00	3.22	89.94

1.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น

จากการวิเคราะห์ค่าความขุ่น พบว่าค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 38.11-38.62 NTU เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 3.22-14.19 NTU ซึ่งค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องทุกชุดการทดลอง อย่างไรก็ตามค่าความขุ่นในชุดการทดลองพืชทั้งสามชนิดมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม โดยพืชทดลองที่มีประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นได้มากที่สุด ได้แก่ กระจับ รองลงมาคือ ผักกระเฉด ผักบุ้ง และชุดควบคุม (ดังแสดงในรูปที่ 19) เมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าเท่ากับ 91.66, 83.72, 78.49 และ 63.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 รวมทั้งพบว่าค่าความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ตามระยะเวลาและชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลอง



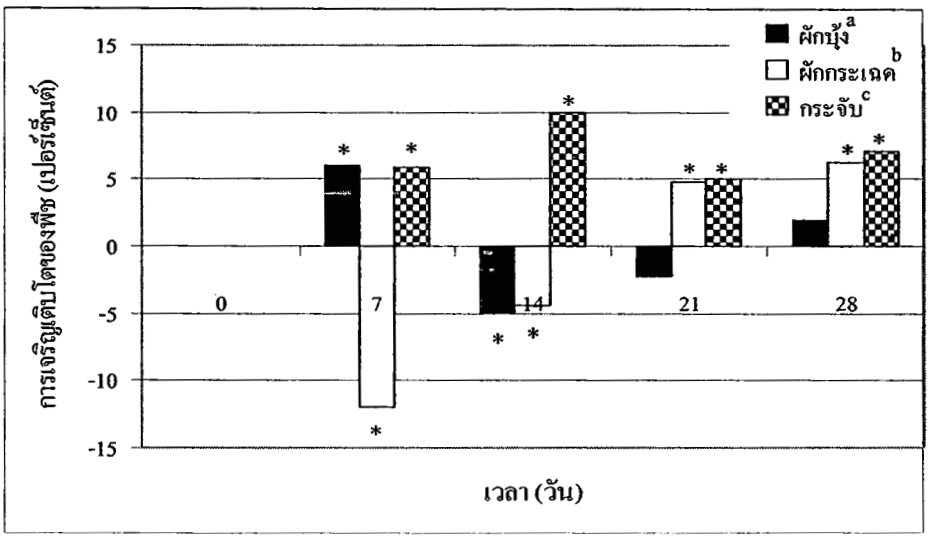
รูปที่ 19 ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่บำบัดโดยใช้ผักปุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)
* แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองมีค่าความขุ่นที่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$
(a, b, c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองที่ทำให้ค่าความขุ่นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ชุดการทดลอง	ความขุ่น (NTU)		ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย	
ควบคุม	38.58	14.19	63.25
ผักปุ้ง	38.15	8.22	78.49
ผักกระเฉด	38.11	6.21	83.72
กระจับ	38.11	3.22	91.66

1.7 ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืช

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กระจับเป็นพืชทดลองที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมาคือผักกระเฉดและผักบุ้งตามลำดับ (รูปที่ 20) เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 7.11, 6.22 และ 2.00 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ตามระยะเวลาและชนิดของพืชที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ S.D.)
*** แสดงระยะเวลาที่ทำให้ชุดทดลองพืชมีอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$**
(a, b, c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันแทนชุดทดลองพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

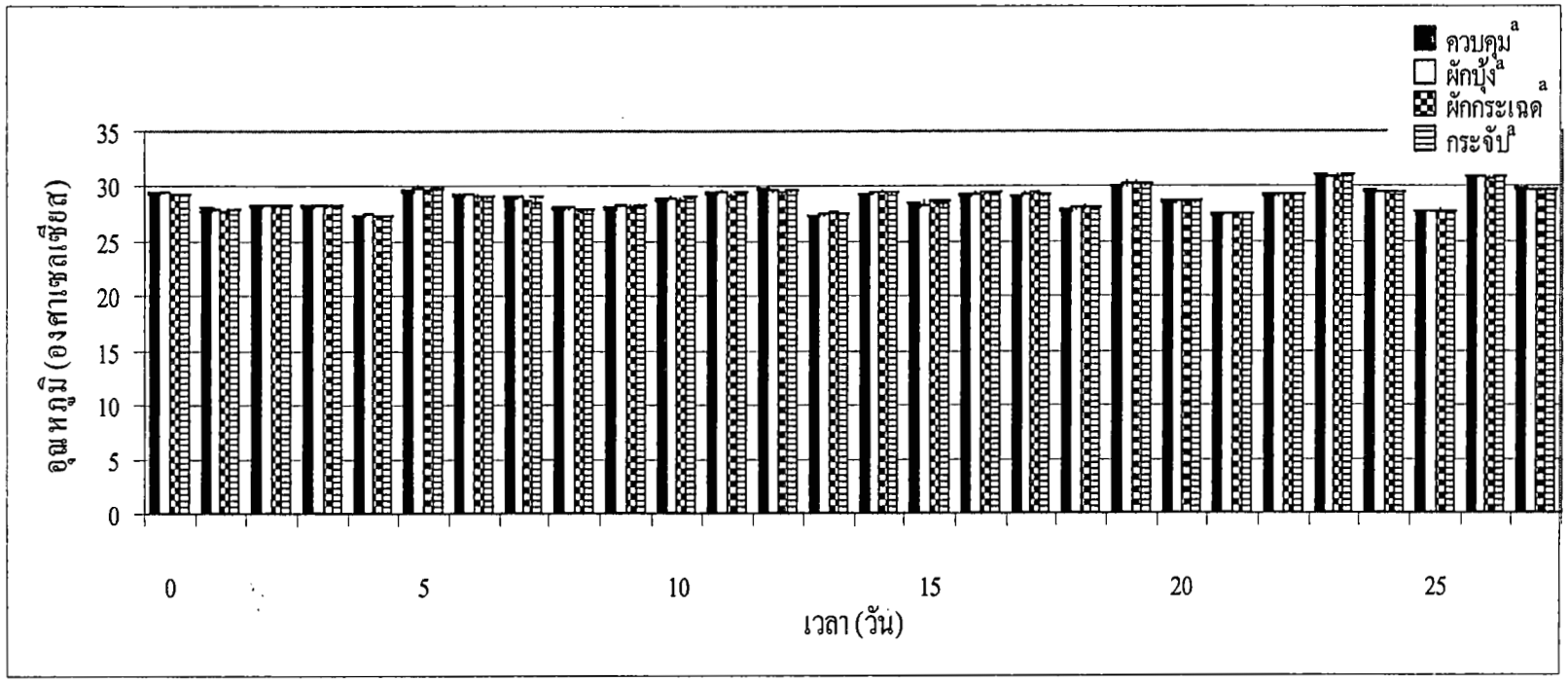
พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			
	ชุดควบคุม	ผักบุ้ง	ผักกระเฉด	กระจับ
แอมโมเนีย	24.73	44.28	50.30	67.87
ไนไทรต์	7.18	34.91	59.81	53.24
ไนเทรต	29.59	96.17	92.15	97.97
ฟอสเฟต	18.42	51.77	62.75	70.47
บีโอดี	57.54	85.21	86.50	89.94
ความขุ่น	63.25	78.49	83.72	91.66

1.8 ผลของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดต่ออุณหภูมิ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ ที่ความหนาแน่น 300 กรัมต่อตู้ทดลองและชุดควบคุม ตลอดระยะเวลา 28 วัน โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกวัน วันละ 2 ครั้ง (8.00 น. และ 16.00 น.) ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และความเค็ม ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และฟอสเฟต วันละ 1 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ปริมาณ บีโอดี ความขุ่น และอัตราการเจริญเติบโตของพืชสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ผลการทดลองมีดังนี้

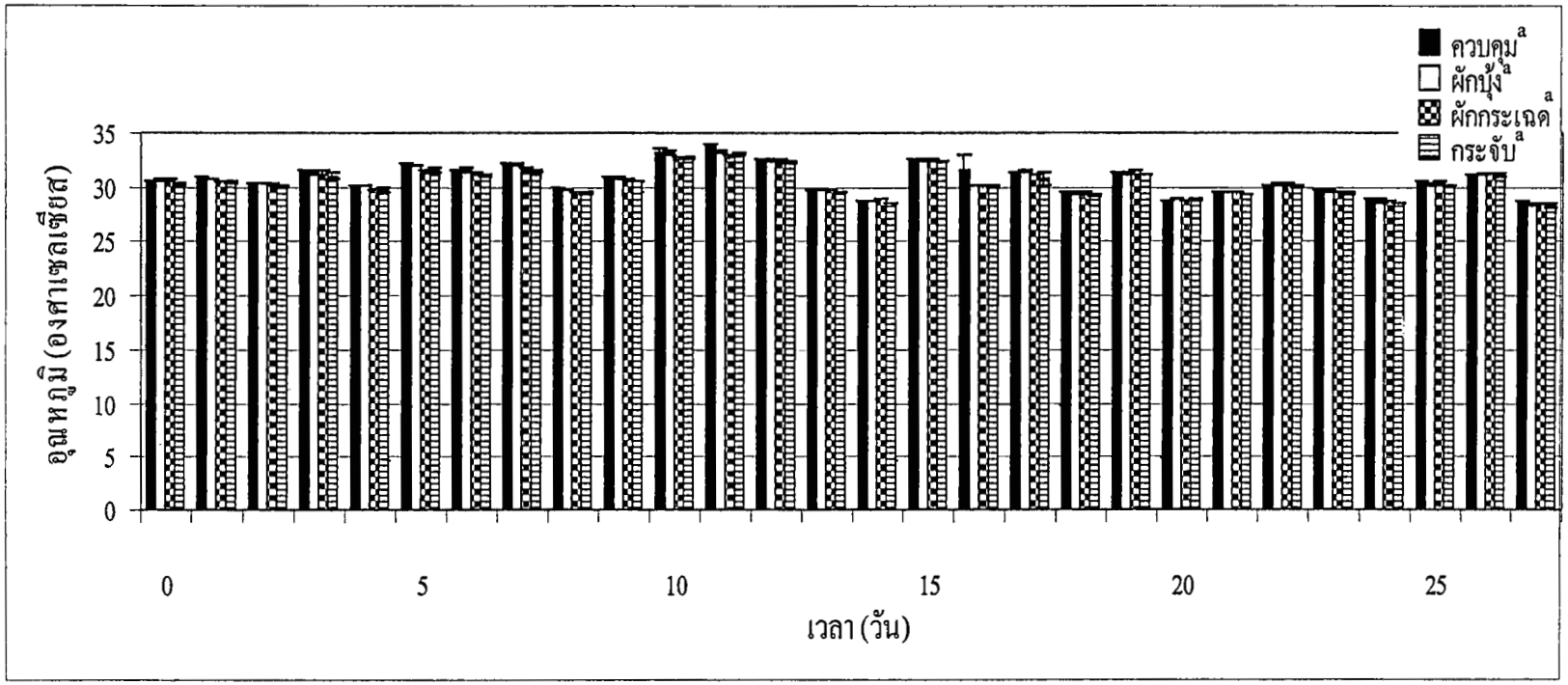
อุณหภูมิ จากการตรวจวัดอุณหภูมิ 2 ช่วงเวลา คือ เวลาเช้า (8.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 27.40-31.60 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการทดลองแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชุดทดลองและชุดควบคุมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในช่วงแรกของการทดลองจนถึงวันที่ 4 อุณหภูมิลดลงเล็กน้อย และมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในวันต่อมา ซึ่งในช่วงท้ายของการทดลองอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิในทุกชุดทดลองพืชและชุดควบคุมมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 21

ในเวลาเย็น (16.00 น.) อุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 28.20-33.30 องศาเซลเซียส และพบว่าอุณหภูมิที่วัดได้ในเวลาเย็นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่วัดได้ในเวลาเช้าเล็กน้อย ซึ่งตลอดระยะเวลาการทดลองแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชุดทดลองและชุดควบคุมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับอุณหภูมิที่วัดได้ในตอนเช้า โดยที่มีอุณหภูมิคงที่ในช่วงแรกของการทดลองแต่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงมากในช่วงกลางตั้งแต่วันที่ 8 ถึงวันที่ 20 หลังจากนั้นจึงมีค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อยในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 27) เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 22 ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิของชุดทดลองที่มีพืชชนิดต่าง ๆ และชุด



รูปที่ 21 อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักปุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่อุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



ภาพที่ 22 อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักปุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่อุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

ควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ แต่มีความแตกต่างตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ทั้งในช่วงเช้าและช่วงเย็น

1.9 ผลของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

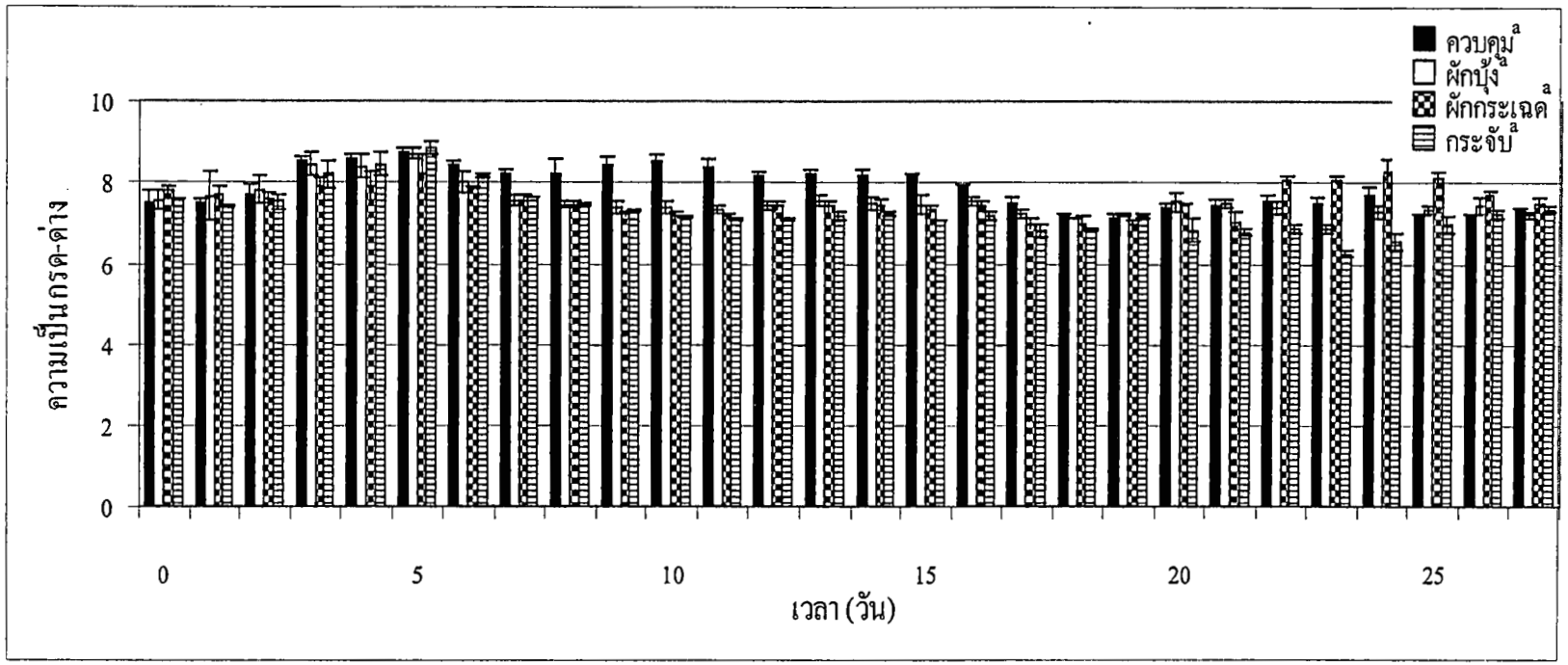
จากการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเช้า (8.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 6.27-8.86 โดยพบว่าตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงวันที่ 7 ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในวันที่ 8 จนถึงวันที่ 21 ชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในชุดการทดลองหลังจากวันที่ 21 จนสิ้นสุดการทดลองผักกระเฉดมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในชุดควบคุมและชุดทดลองอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าตั้งแต่วันที่ 7 จนสิ้นสุดการทดลองกระจับมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 23

ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงเวลาเย็น (16.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 6.77-9.02 โดยพบว่าตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงวันที่ 7 มีค่าใกล้เคียงกัน จากวันที่ 8 จนสิ้นสุดการทดลองชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าในชุดการทดลองอื่น ๆ และกระจับเป็นชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งพบว่าความเป็นกรด-ด่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ของทุกชุดการทดลองพืชและชุดควบคุม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งในช่วงเช้าและช่วงเย็น

1.10 ผลของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

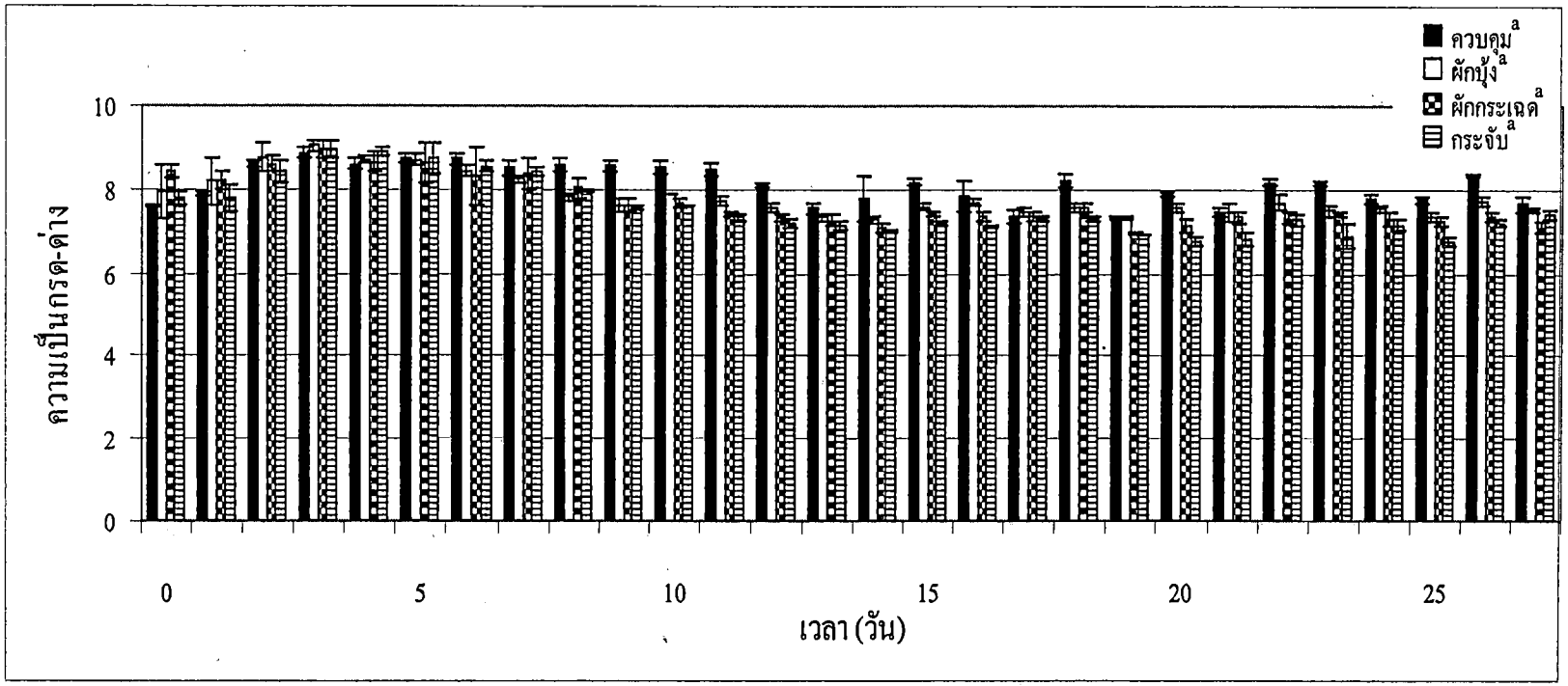
จากการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในช่วงเช้า (8.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 4.53-9.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าตั้งแต่วันที่ 4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองชุดควบคุมมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุด ส่วนในชุดการทดลองปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน โดยกระจับมีแนวโน้มของออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าผักบุ้งและผักกระเฉด ดังแสดงในรูปที่ 25

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเย็น (16.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 5.11-12.38 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าในช่วง 15 วันแรกปริมาณออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หลังจากวันที่ 15 จนสิ้นสุดการทดลองปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในชุดควบคุมมีค่าต่ำที่สุด ส่วนกระจับเป็นชุดทดลองที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 26 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่วัดได้ในเวลาเย็นมีค่าสูงกว่าเวลาเช้า และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ ของทุกชุดการทดลองพืชและชุดควบคุม รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง



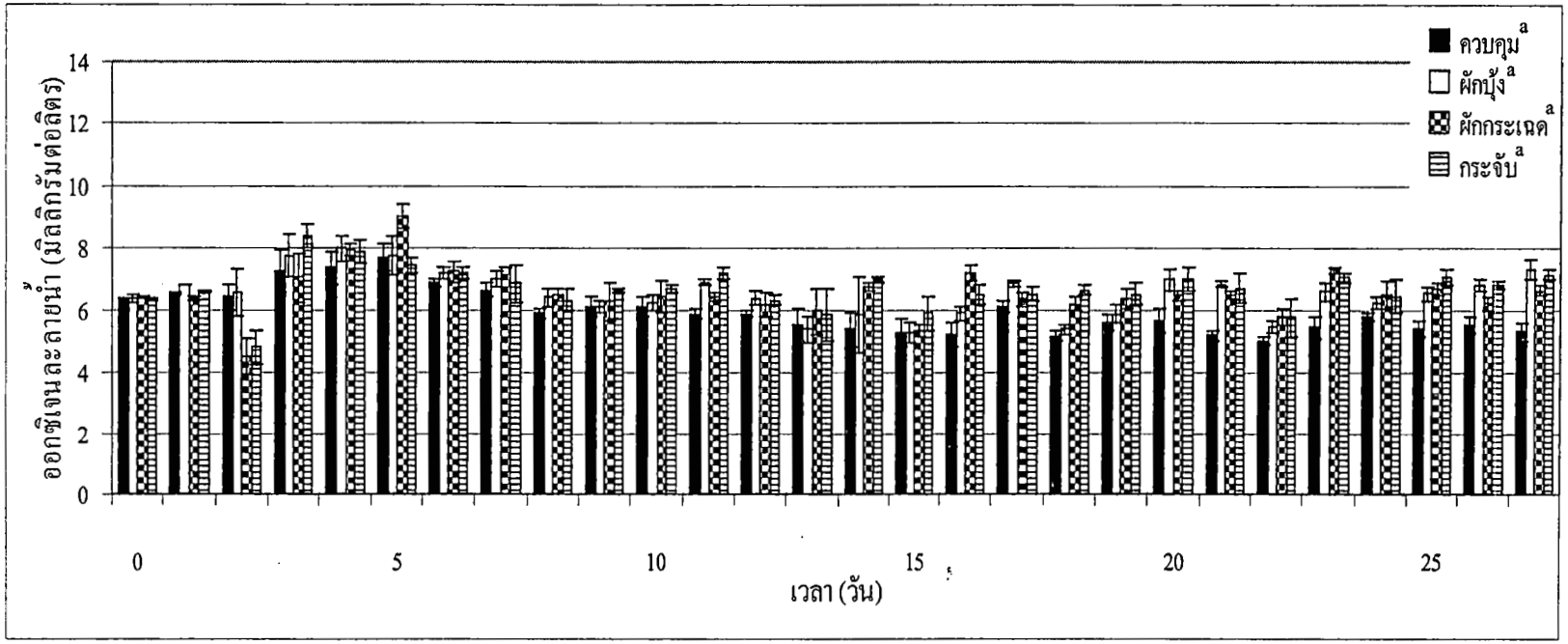
รูปที่ 23 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักปุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



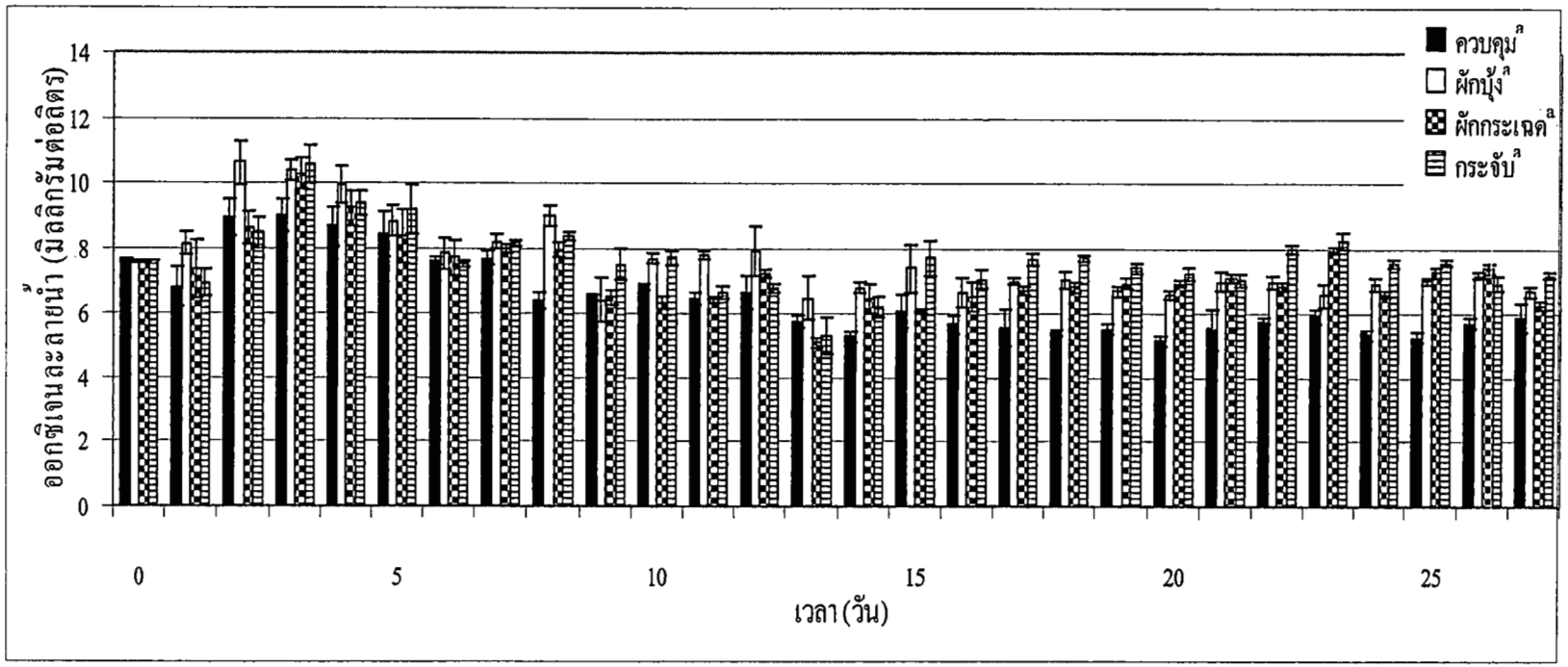
รูปที่ 24 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



รูปที่ 25 ปริมาณออกซิเจนของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



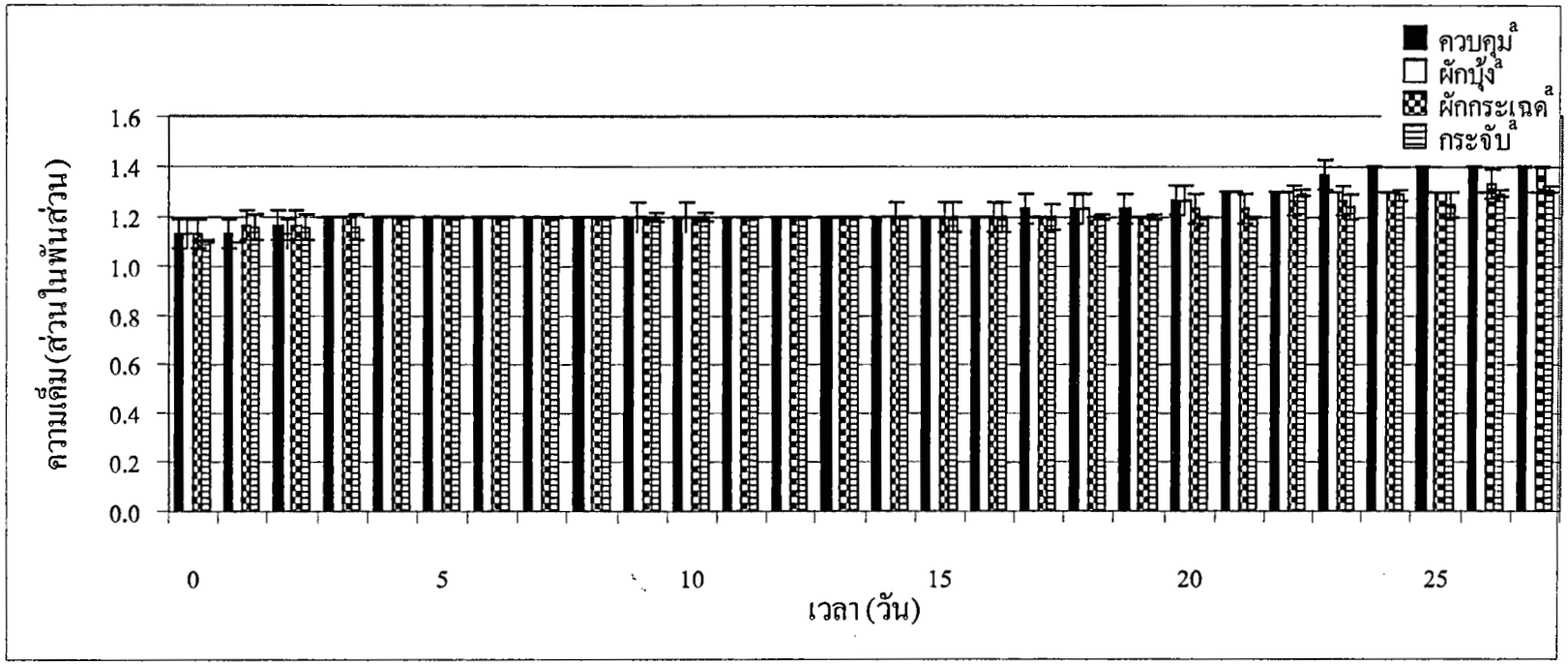
รูปที่ 26 ปริมาณออกซิเจนของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

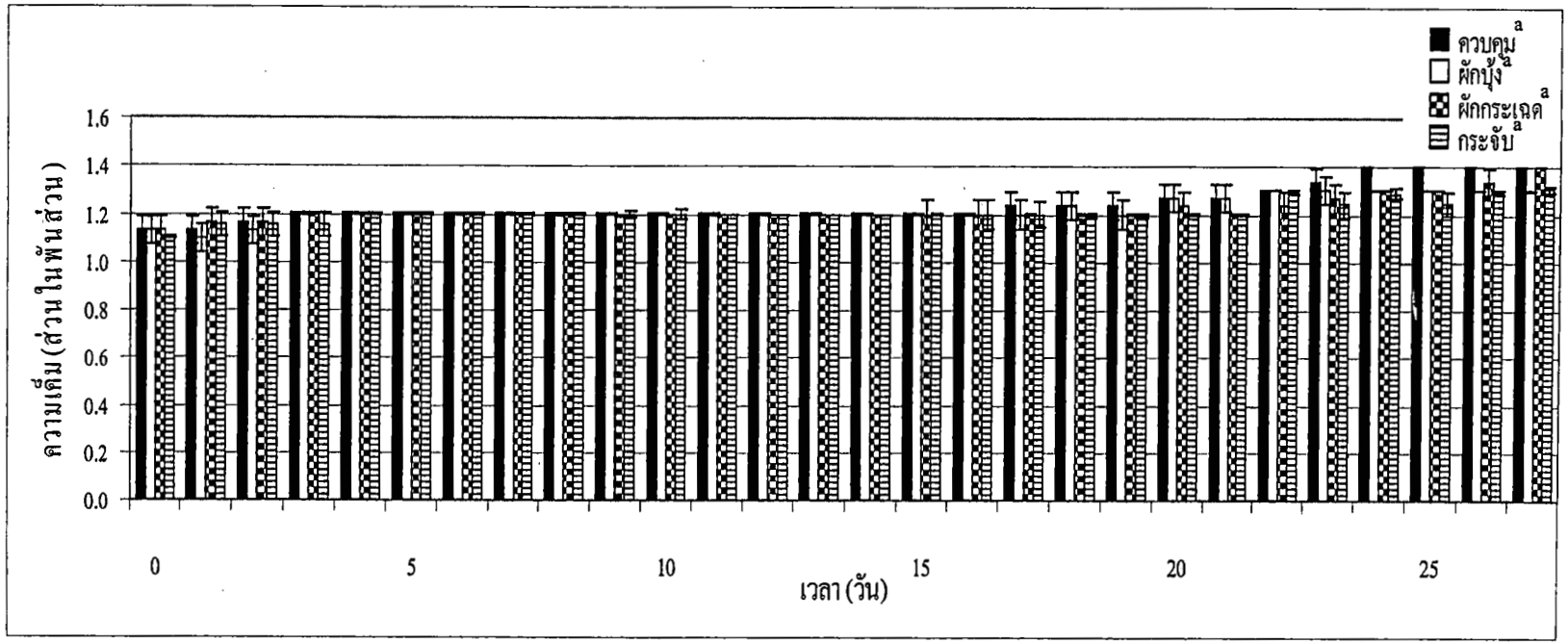
1.11 ผลของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดต่อความเค็ม

จากการตรวจค่าความเค็มของน้ำ 2 ช่วงเวลา คือ เวลาเช้า (8.00 น.) มีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.40 ส่วนในพันส่วน (ppt) พบว่าค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาในการทดลองทั้งในชุดควบคุมและชุดของการทดลอง ในช่วงแรกความเค็มจะแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง และมีค่าคงที่ตั้งแต่วันที่ 4 เป็นต้นไปถึงวันที่ 16 หลังจากนั้นในช่วงท้ายของการทดลองถึงวันที่ 27 ความเค็มเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกัน โดยในชุดควบคุมมีความเค็มสูงที่สุด คือ 1.40 ส่วนในพันส่วน ในขณะที่ชุดทดลองพืชผักกระเฉดมีความเค็มเพิ่มขึ้นในวันสุดท้ายเท่ากับชุดควบคุม ส่วนชุดทดลองพืชผักบุ้งและกระจับมีความเค็มต่ำกว่าคือ 1.30 ส่วนในพันส่วน ดังแสดงในรูปที่ 27

ในเวลาเย็น (16.00 น.) ความเค็มมีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.40 ส่วนในพันส่วน (ppt) ซึ่งพบว่าค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับในเวลาเช้า คือมีความแตกต่างกันในช่วงแรกจนถึงวันที่ 4 และมีค่าคงที่จนถึงวันที่ 16 และมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง โดยที่ชุดควบคุมและชุดทดลงผักกระเฉดมีความเค็มมากกว่าชุดทดลองอื่น คือ 1.40 ส่วนในพันส่วน ส่วนชุดทดลองพืชผักบุ้งและกระจับมีความเค็มต่ำกว่าคือ 1.30 ส่วนในพันส่วน ดังแสดงในรูปที่ 28 แต่อย่างไรก็ตามสรุปได้ว่าความเค็มของชุดการทดลองที่มีพืชชนิดต่าง ๆ และชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ แต่มีความแตกต่างตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$



รูปที่ 27 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเช้า (8.00 น.)
(ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)
(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ความเค็มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$



รูปที่ 28 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับที่วัดได้ในเวลาเย็น (16.00 น.) (ค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ; bar คือค่า S.D.)

(a) ตัวอักษรที่เหมือนกันแทนชุดทดลองที่ความเค็มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p > 0.05$

บทที่ 6

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

1.1 คุณภาพน้ำทิ้ง ณ จุดเก็บตัวอย่างก่อนที่จะเก็บมาทำการศึกษา

คุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง เมื่อนำมาทำการทดลองพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง, ออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง แต่ค่าความขุ่น, ปริมาณบีโอดี, แอมโมเนีย, ไนไทรต์, ไนเทรต และฟอสเฟตมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษและกรมประมง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแหล่งน้ำที่นำมาศึกษามีความเหมาะสมที่จะนำมาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้พืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

1.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

จากผลการทดลองพบว่าพืชทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง, ออกซิเจนละลายน้ำและอุณหภูมิ ที่ใกล้เคียงกันแต่กระจับมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณบีโอดี, ความขุ่น, แอมโมเนีย, ไนเทรต, ฟอสเฟต และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด และกระจับมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนไทรต์ใกล้เคียงกับผักกระเฉดซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนไทรต์สูงสุด ดังนั้นสรุปได้ว่ากระจับมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาดีที่สุด และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษและกรมประมง ยกเว้นไนไทรต์, ไนเทรตและความขุ่น ซึ่งไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ แต่กระจับสามารถลดปริมาณพารามิเตอร์ทั้ง 3 นี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

อภิปรายผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้พืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิด คือ ผักบุ้ง ผักกระเฉด และกระจับ

การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์การใช้หลักการของบึงชีวภาพ (Constructed wetlands) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยดินตะกอนและพืชน้ำเพื่อการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยเลือกใช้พืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิดคือ ผักบุ้ง ผักกระเฉดและกระจับ ซึ่งจัดอยู่ในประเภท

พืชลอยน้ำเนื่องจากพืชประเภทลอยน้ำว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าพืชโผล่พ้นน้ำ พืชชายน้ำและพืชใต้น้ำ (สุชาดา ศรีเพ็ญ, 2543) รวมทั้งรายงานการศึกษาของจันทร์ประภา ชุมชัย (2546) ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำบางชนิด ได้แก่ จอก ผักตบชวา และพืชโผล่พ้นน้ำ คือ กกสามเหลี่ยม แห้วทรงกระเทียมและธูปฤาษีในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ผลการศึกษาพบว่าพืชลอยน้ำ (จอกและผักตบชวา) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งได้ดีกว่าพืชโผล่พ้นน้ำ (กกสามเหลี่ยม แห้วทรงกระเทียมและธูปฤาษี) โดยผักตบชวาและจอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ใกล้เคียงกันและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากกสามเหลี่ยม แห้วทรงกระเทียมและธูปฤาษี ซึ่งผักตบชวามีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ไนไทรต์ ไนเทรต และออร์โธฟอสเฟตเท่ากับ 88.47%, 46.15%, 83.58% และ 87.13 % ส่วนจอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 86.48%, 26.08%, 87.61% และ 87.32% ตามลำดับ ในขณะที่กกสามเหลี่ยมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 81.00%, -70.58%, 55.55%, 18.72% แห้ว-ทรงกระเทียมมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 74.40%, -33.33%, 65.11%, 25.12% และธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 67.93%, -47.36%, 66.66%, 63.30% ตามลำดับ

นอกจากนั้นการนำผักบุ้ง กระเฉด และกระจับ ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาศึกษาในครั้งนี้เนื่องจากหลังจากการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำสามารถนำมาบริโภคได้และยังมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ในน้ำกร่อย (ข้อมูลไม่ได้แสดงในครั้งนี้) ซึ่งน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกจะมีความเค็มในช่วง 1.10-15.0 ส่วนในพันส่วน และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่ากระจับสามารถลดปริมาณบีโอดี, ความขุ่น, แอมโมเนีย, ไนไทรต์, ไนเทรต และฟอสเฟต ในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่ามีค่าคือ 3.22, 3.22 NTU, 0.06, 0.0072, 0.04 และ 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ 89.94%, 91.66%, 88.78%, 53.24%, 97.97% และ 70.47% ตามลำดับ ซึ่งกระจับมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เมื่อเปรียบเทียบกับผักบุ้งและผักกระเฉด ยกเว้นปริมาณไนไทรต์ซึ่งผักกระเฉดมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงสุดคือ 59.81% แต่กระจับสามารถลดปริมาณไนไทรต์ได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผักกระเฉดเช่นกัน โดยที่จากระยะเวลาในการทดลอง 28 วัน กระจับมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำทิ้งเมื่อใช้ระยะเวลาในการบำบัดปริมาณบีโอดีและแอมโมเนียเพียง 7 วัน (วันที่ 6 ของการทดลอง) และใช้เวลาในการบำบัดฟอสเฟต 28 วัน (วันที่ 27 ของการทดลอง) ซึ่งสามารถลดปริมาณบีโอดี, แอมโมเนีย และฟอสเฟต ให้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษและกรมประมงที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ โดยกำหนดให้มีปริมาณ บีโอดี <20 มิลลิกรัมต่อลิตร, แอมโมเนีย <0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสเฟต <0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2538; กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง, 2546)

สำหรับไนไทรต์และไนเทรตนั้นไม่พบว่ามีการกำหนดค่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

ไนไทรต์เป็นอิออนที่ไม่คงตัวและเปลี่ยนเป็นไนเทรตได้รวดเร็ว ทำให้ในน้ำผิวดินปกติไนไทรต์มีปริมาณไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการทดลองนี้ปริมาณไนไทรต์มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณไนไทรต์ในน้ำผิวดิน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, 2545) ส่วนไนเทรตไม่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจึงไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามไนเทรตเป็นสารตัวกลางของแอมโมเนียและไนไทรต์จึงทำให้การตรวจวัดปริมาณไนเทรตจึงมีความสำคัญและควรจะได้รับการตรวจวัดร่วมกับแอมโมเนียและไนไทรต์เพื่อทำให้การจัดการสารกลุ่มไนไตรเจนในน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดยังมีความสามารถในการลดความขุ่นลดปริมาณลงน้อยกว่า 5 NTU ซึ่งนับได้ว่าเป็นปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และไม่ทำให้แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งหลังการบำบัดมีความใสและไม่ก่อผลกระทบต่อสัตว์น้ำในแหล่งน้ำดังกล่าวต่อไปโดยถึงแม้ว่าความขุ่นจะไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานเช่นเดียวกับไนไทรต์และไนเทรต

ซึ่งหลักในการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งนั้นเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน (Stowell et al., 1981; Brix, 1997) ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยรากหรือลำต้นที่อยู่ใต้น้ำมีหน้าที่ดูดซับสารพิษและสารอาหาร เป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัย เป็นตัวกลางในการกรอง ดูดซับตะกอนและของแข็งที่อยู่ในน้ำ และลดความเข้มของแสงแดดที่ส่องตรงสู่ผิวน้ำจึงช่วยป้องกันการเจริญของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ นอกจากนั้นลำต้นหรือใบที่อยู่เหนือน้ำจะช่วยลดความแรงของลมไม่ให้พัดตะกอนที่จมอยู่ด้านล่างขุ่นขึ้นมา และในการบำบัดดังกล่าวจะมีกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอนและการดูดซับสารของต้นพืชร่วมกับกระบวนการทางชีวภาพได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการดูดซึมของพืชร่วมกันในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นส่งเสริมให้พืชน้ำมีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งได้เป็นอย่างดี โดยมีกระบวนการทางชีวภาพเป็นปัจจัยสำคัญในการลดปริมาณสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ดังเช่น การลดปริมาณบีโอดีเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาแอโรบิกออกซิเดชั่น (Reddy & D'Angelo, 1997) โดยรากของพืชน้ำซึ่งมีบทบาทสำคัญไม่เพียงแต่เพิ่มพื้นที่ให้แบคทีเรียอาศัยอยู่ แต่ยังทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำ พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากออกมายังบริเวณพื้นที่รอบ ๆ ราก (Rhizosphere) มีผลทำให้เกิดสภาวะที่มีออกซิเจน กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาแอโรบิกออกซิเดชั่น ย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มการเจริญของ nitrifying bacteria ที่อาศัยอยู่ในบริเวณรากพืช ทำให้สารอินทรีย์มีปริมาณลดลง (Fraser et al., 2004; Brix, 1997; Ayaz & Akca, 2001)

จากการที่พืชน้ำทำให้ออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา nitrificaiton ย่อยสลายแอมโมเนียเป็นไนไทรต์และไนเทรต ตามลำดับ โดย nitrifying bacteria และเกิดปฏิกิริยา dinitrification ทำให้ไนเทรตกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน นอกจากนี้พืชน้ำยังมีบทบาทในการลดปริมาณ

สารอินทรีย์ โดยการดูดซึมแอมโมเนียและไนเทรตผ่านระบบราก จึงทำให้สำหรับปริมาณแอมโมเนีย, ไนไทรต์และไนเทรตมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Ghaly et al., 2004; Mars et al., 1999)

ปริมาณฟอสเฟตที่ลดลงเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพคือการดูดซึมและสะสมในพืช ร่วมกับกระบวนการทางกายภาพคือการตกตะกอนโดยอนุภาคของดินที่มีเหล็ก อลูมินั่มและแมงกานีสจะจับกับประจุลบของฟอสเฟตจึงทำให้ปริมาณฟอสเฟตลดลง (Stottmeister et al., 2003; Ghaly et al., 2004) และพืชน้ำยังช่วยส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนอนุภาคของแข็งแขวนลอยได้ดียิ่งขึ้น โดยเนื้อเยื่อพืชทำหน้าที่เป็นตัวกรองตะกอนและของแข็งแขวนลอย (Stottmeister et al., 2003; Brix, 1997) จึงมีผลต่อปริมาณความขุ่นที่ลดลงด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า กระจับเป็นพืชน้ำที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดโดยมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 7.11% เมื่อเปรียบเทียบกับผักบุ้งและผักกระเฉด ซึ่งการที่กระจับมีอัตราการเจริญเติบโตสูงน่าจะทำให้มีความต้องการสารอาหาร (Nutrient) สูง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต กระจับจึงสามารถดูดซึมและรับสาร (uptake) เข้าสู่ต้นพืชได้สูง โดยผ่านทางระบบรากเป็นส่วนใหญ่ แต่ลำต้นและใบที่อยู่ใต้น้ำหรือปริ่มน้ำสามารถดูดซึมสารอาหารได้เช่นกันแต่เป็นเพียงส่วนน้อย (Brix, 1997) นอกจากนี้ราก ใบ และลำต้นที่อยู่ใต้น้ำยังเป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัย (Biofilm) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ (อภิชัย เชียร์ศิริกุล, 2533; Stowell et al., 1981) ซึ่งระบบรากของกระจับที่มีจำนวนรากมากกว่าและยาวกว่าระบบรากของผักกระเฉดและผักบุ้ง คือมีรากฝอยใต้น้ำและรากที่แตกตามข้อของลำต้นใต้น้ำ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซึมและรับสารอินทรีย์เข้าสู่ลำต้นพืชได้ดี (Brix, 1997) จากปัจจัยเหล่านี้จึงทำให้กระจับเป็นพืชน้ำที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ดีที่สุด

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้พืชน้ำเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาการปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยตรงโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรและระบบนิเวศแหล่งน้ำได้เหมือนกับวิธีอื่นๆ รวมทั้งการใช้พืชน้ำในการบำบัดเป็นวิธีที่ประหยัดและสามารถทำได้ง่าย รวมทั้งเป็นการบำบัดโดยใช้ธรรมชาติ และกระจับน่าจะเป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งเกิดรายได้เสริมจากผลกระจับที่เจริญขึ้นที่สามารถนำมาขายเป็นรายได้เสริมร่วมกับการนำต้นกระจับไปทำเป็นอาหารสัตว์ได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้กระจับในการจัดการน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นวิธีที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย.

กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 2546. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

กลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. (2530). การเพาะเลี้ยงและเพิ่มผลผลิตกุ้งกุลาดำ. กรุงเทพฯ : รุ่งเรืองการพิมพ์.

จันทร์ประภา ชุมชัย. (2546). ประสิทธิภาพของพืชน้ำบางชนิดในการบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. (2534). คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. กรุงเทพฯ: บริษัทฐานเศรษฐกิจ จำกัด

ธงชัย ภู่วชิรานนท์. (2536). การสะสมตะกั่วในผักบุ้งและผักกระเฉดจากแหล่งน้ำผิวดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตันฑุลเวศน์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; กรุงเทพมหานคร.

รตีวรรณ อ่อนรัศมี และคณะ. (2541). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งด้วยระบบบำบัดแบบชีววิทยา. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สินีนุช ศิรวุฒินานนท์. (2535). การใช้ระบบบ่อเติมอากาศในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศิรวรรณ คิดประเสริฐ. (2538). การใช้สาหร่ายทะเลช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง) สาขาวิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญญัติ สุขศรีงาม จุลชีววิทยาทั่วไป พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพ, โอเดียนสโตร์ 2534

วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์. (2532). ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำกับสารอาหารในบึงมักกะสัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. (2533). การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิรักษ์ จันทวงศ์. (2536). การบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้สาหร่ายวุ้น (Gracilaria verrucosa). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ การจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Ayaz, S.C. and Akca, L. (2001). Treatment of wastewater by natural systems, *Environmental Internationa.*, 26, 189-195.

Brix, H. (1997). Do Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?, *Water Science Technolog.*, 35(5), 11-17.

Fraser, L.H., Carty, S.M. and Steer, D. (2004). A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms, *Bioresource Technology*. 94, 185-192.

Ghaly, A.E., Kamal, M. and Mahmoud, N.S. (2004). Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed, *Environmental International*. available online at www.sciencedirect.com

Lightner DV (1993) Diseases of Cultured Penaeid Shrimps. In: McVey, J.P. (Ed.), CRC Handbook of Mariculture, 2nd edn. Boca Raton, pp. 393–486.

Mars, R., Mathew, K. and Ho, G. (1999). The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment, *Ecological Engineerin.*, 13, 57-66.

Reddy, K.R. and D'Angelo, E.M. (1997). Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands, *Water Science Technolog.*. 35(5), 1-10.

Reddy, K.R. and D.L. Sutton. (1984). Water Hyacinths for Water Quality Improvement and Biomass Production. Eviron. Qual.13(1), 1-8.

Rosenberry B (1996) World shrimp farming, an annual report. Shrimp News International, San Diego, CA, USA.

Sansanayuth P .,et.al. (1996). Shrimp pond effuent: pollutant problems and treatment by constructed wetland. Wat. Sci. Tech. 34(11).

Stottmeister, U., Wieβner, A., Kuschk, P., et al. (2003). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment, *Biotechnology Advances*. 22, 93-117.

Stowell, R. R. Ludwig J. Golt and G. Tchobanoglous. (1981).Concepts in Aquatic Treatment System desing. *Environ-Eng. Div. Proc.am. Soc. Civil Eng.* 1(7); 919-940.

http://kanchanapisek.or.th

http://kanchanapisek.or.th/cgi-bin/show2.cgi/kp6/BOOK13/pictures/s13-267-1

http://www.dec.ctu.edu.vn/cdrom/cd3/general%20aspects/introduc/les15/a1236.jpg

http://web.port.ac.uk/departments/economics/cemare/images/1Thaiintensive1.jpg

http://www.talaythai.com

http://www.crm.gov.mp

http://www.nrm.se/ev/images/ echinoderms/holatra.jpg

http://www.saltcorner.com/.../ seacucumbers/Hatra.jpg

http://www.bangkokhealth.com

http://www.fetonte.polesineinnovazione.it/images/foto/80.jpg

http://www.nicaonline.com/images/sp.jpg

http://www.afcd.gov.hk

http://www.reef.crc.org.au/.../ aboutreef/asiangreen.jpg

http://www.tech2u.com.au/~vals/images/halophila%20ovalis.jpg

http://www.lib.ru.ac.th/

http://www.surialink.com/HANDBOOK/Genera/reds/Gracilaria/Gracilaria.htm

http://e-info.org.tw/topic/fspecies/2001/fs011002012.jpg

http://www.inchinapinch.com/hab_pgs/marine/coral_reef/images/gracilar.jpg

http://www.swan.ac.uk/biodiv/poole/images/Dyrynda%20Poole%20Hydrallmania%20falcata%20WE B.JPG

http://www.kanchanapisek.or.th/kp8/cbr/cbr708.html - 4k

http://www.forest.go.th/park/sara/wetland/varied%20biology.htm - 14k

http://www.ku.ac.th/.../thaifish/ aqplant/aqpt051.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์แอมโมเนีย

1.1 Alkaline stock solution

ใช้โซเดียมซิเตรท 100 กรัม กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรครบ 0.5 ลิตร

1.2 Oxidizing reagent

ใช้ Alkaline stock solution 4 ส่วน ผสมกับ Hypochlorite stock 1 ส่วน สารละลายนี้เตรียมเมื่อต้องการจะใช้ในแต่ละครั้ง แล้วเก็บไว้ในขวดทึบแสง ปิดฝาให้สนิทจนกระทั่งถึงเวลาใช้

1.3 Sodium nitroprusside reagent

ใช้ Sodium nitroprusside 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 0.2 ลิตร

1.4 Phenol reagent

ใช้ Phenol 100 กรัม ละลายในเอธิลแอลกอฮอล์ 95% จนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร

2. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ไนไทรต์

2.1 Sulphanilamide solution

ค่อยๆ รินกรด HCl เข้มข้น 0.1 ลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น 0.3 ลิตร คนให้เข้ากัน ชั่ง Sulphanilamide 5 กรัม แล้วนำมาละลายในสารละลายกรด แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 0.5 ลิตร

2.2 N-1-(naphtyl) ethylenediamine dihydrochloride (NNED)

ใช้ NNED 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรครบ 0.5 ลิตร จะได้สารละลายสีชมพูจางๆ หรือไม่มีสี เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาล ถ้าสาร ละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือน้ำตาลเข้มต้องเตรียมใหม่

3. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ไนเทรต

3.1 สารละลายโซเดียมคลอไรด์

ละลายโซเดียมคลอไรด์ 300 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมให้ครบ 1 ลิตร

3.2 สารละลายกรดซัลฟูริก

ค่อยๆ เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 500 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.3 สารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิก

ละลายบรูซีน 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิก 0.1 กรัม ในน้ำร้อนประมาณ

70 มิลลิลิตร แล้วใส่กรดเกลือเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้นานหลายเดือน ถ้ามีสีชมพูขึ้นก็ไม่กระทบกระเทือนต่อปฏิกิริยา

4. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ฟอสเฟต

4.1 Acid molybdate-antimony

ใช้น้ำกลั่น 0.5 ลิตร เติม Ammonium paramolybdate 7.5 กรัม แล้วใส่ Antimony potassium tartrate 0.14 กรัม และเติม Sulphuric acid 88 มิลลิลิตร ผสมสารทั้งหมดตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดทึบแสง

4.2 Ascorbic acid solution

ใช้ Ascorbic acid 2.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 0.1 ลิตร สารละลายนี้เมื่อเตรียมแล้วต้องใช้ในเวลา 24 ชั่วโมง หากแช่ตู้เย็นก็สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นเวลา 2-3 วัน

4.3 Mixed molybdate

ใช้ Acid molybdate-antimony 4 ส่วน ผสมกับ Ascorbic acid solution 1 ส่วน สารละลายนี้ใช้ได้ภายใน 24 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายมาตรฐานและกราฟมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานและกราฟมาตรฐาน

1.1 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานความเข้มข้น 0.05-7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเตรียมได้ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยนำแอมโมเนียมคลอไรด์ที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไปเตรียมสารละลายสต๊อกแอมโมเนีย โดยละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 3.818 กรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร ไปเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 16 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05–7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

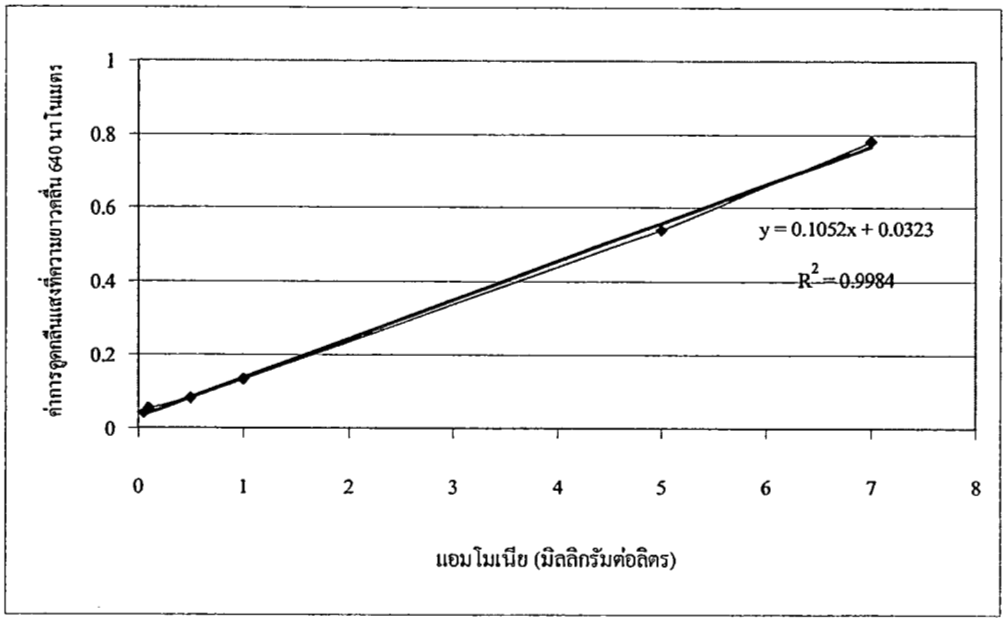
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารละลายแอมโมเนีย (มิลลิลิตร)
0.05	0.005
0.1	0.01
0.1	0.01
1.0	0.1
1.0	0.50
1.0	0.50

เติมลงในขวดปรับปริมาตรและเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียตามวิธีของไมตรี ดวงสวัสดิ์และจารุวรรณ สมศิริ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและค่าการดูดกลืนแสง ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ ความเข้มข้น 0.05-7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร
0.05	0.0418
0.1	0.0418
0.1	0.0418
1.0	0.1331
0.5	0.0433
7.0	0.7838

จากข้อมูลในตารางที่ 17 สามารถเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.05-0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตและกราฟมาตรฐาน

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตความเข้มข้น 0.05-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเตรียมได้โดยนำแอนไฮดรัสโปแตสเซียมไนเทรต (KNO_3) 721.8 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นี้จะใช้เป็นสารละลายสต๊อกไนเทรต 1 มิลลิลิตรมีไนเทรต-ไนโตรเจน 100 ไมโครกรัม หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเทรต-ไนโตรเจนนำไปใช้เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 18 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.05-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

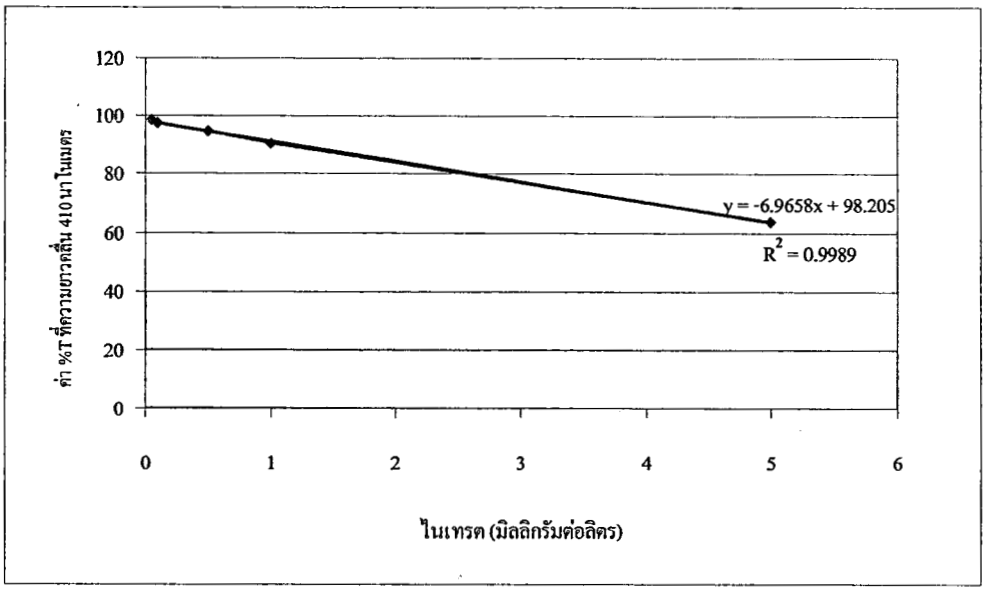
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารละลายไนเทรต (มิลลิลิตร)
0.05	0.025
0.10	0.050
0.10	0.25
1.00	0.50
1.00	0.50

นำสารละลายไนเทรตที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเทรตตามวิธีของมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และนำไปวัด % Transmission ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเทรตและ % Transmission ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.05-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร
0.10	98.5784
1.00	98.5784
0.50	94.4527
1.00	98.5784
1.00	63.5142

จากข้อมูลในตารางที่ 25 สามารถเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเทรตและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 กราฟมาตรฐานของไนเทรตที่ความเข้มข้น 0.05-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์และกราฟมาตรฐาน

3.1 การเตรียมสารละลายไนไทรต์มาตรฐานความเข้มข้น 0.05-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

นำโซเดียมไนไทรต์ที่อบแห้งแล้ว 110 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ไปเตรียมสารละลายสต๊อกไนไทรต์ โดยละลายโซเดียมไนไทรต์ 0.345 กรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตรมีไนไทรต์-ไนโตรเจน 5 ไมโครกรัม นำไปเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 20 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.05-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

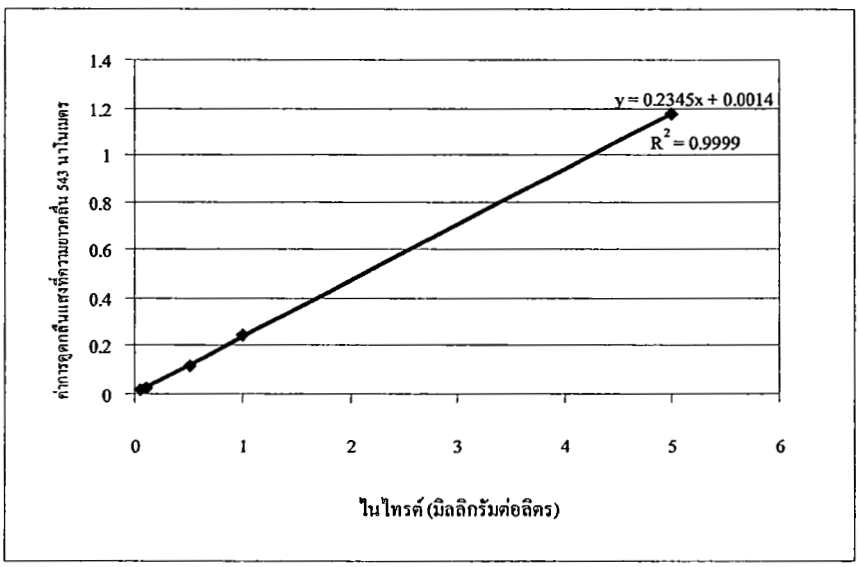
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารละลายไนไทรต์ (มิลลิลิตร)
0.05	0.05
0.10	0.05
0.10	0.50
1.00	1.00
1.00	1.00

นำสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนไทรต์ตามวิธีของ Strickland and Parsons และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนไทรต์และค่าการดูดกลืนแสง ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.05-5.00มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร
0.05	0.0119
0.05	0.0119
0.05	0.0119
0.05	0.0119
0.05	0.0119

จากข้อมูลในตารางที่ 27 สามารถเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนไทรต์และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 กราฟมาตรฐานของไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0.05-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตและกราฟมาตรฐาน

4.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตมาตรฐานความเข้มข้น

เตรียมในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยนำโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไปเตรียมสารละลายสต๊อกฟอสเฟต โดยละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.2197 กรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร ไปเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 22 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0.005-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

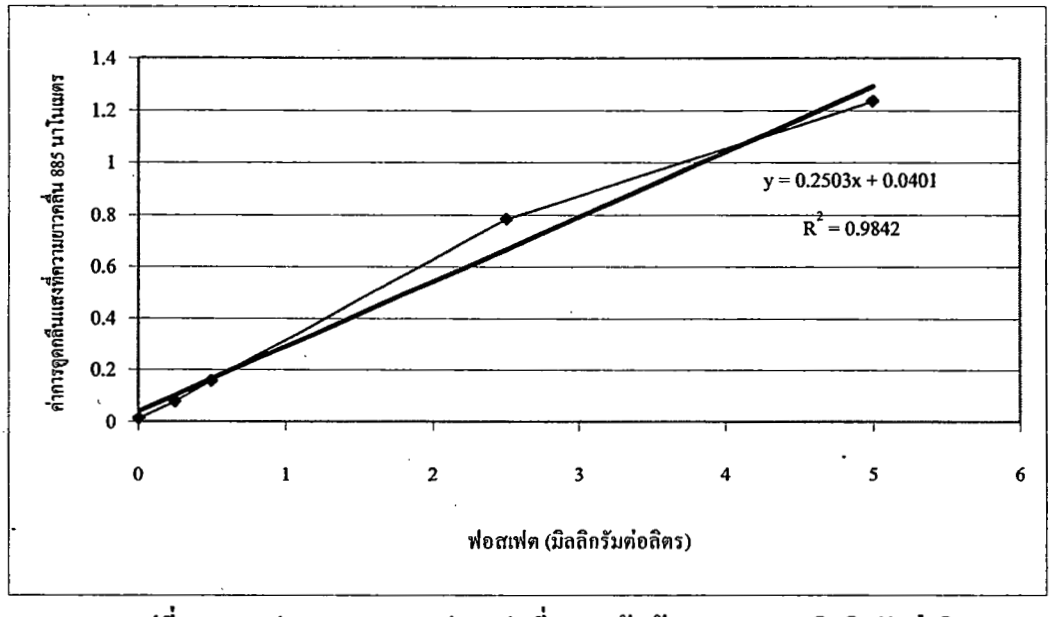
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรสารละลายฟอสเฟต (มิลลิลิตร)
0.005	0.01
0.250	0.0[illegible]
0.[illegible]05	[illegible].0[illegible]
[illegible].250	[illegible].0[illegible]
5.000	10.00

เติมลงในขวดปรับปริมาตรและเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตตามวิธีของไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตและค่าการดูดกลืนแสง ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0.005-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร
0.25[illegible]	0.0123
0.250	0.0123
0.250	0.[illegible]123
5.[illegible]00	0.[illegible]123
5.000	1.2355

จากข้อมูลในตารางที่ 23 สามารถเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 กราฟมาตรฐานของฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0.005-5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร