

การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius)
แบบพัฒนาโดยใช้หอยตะไกรกรมกรามขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby)

ประทีป สองแก้ว¹ สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ² และ เสวภา อังสุภาณิช³

Abstract

Songkeao, P.¹, Chiayvareesajja, S.² and Angsupanich, S.²
Treatment of effluent from intensive culture of black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) by using oyster (*Crassostrea belcheri* Sowerby)
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2002, 24(4) : 621-631

This study examined the effect of using oysters (*Crassostrea belcheri* Sowerby) to treat effluent resulting from the intensive culture of black tiger shrimps (*Penaeus monodon* Fabricius) at the Marine Shrimp Research and Development Center, Songkhla Province. There were 8 treatments - 0 (control), 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 g oysters/l, with 3 replicates. The oysters, weighing 25±5 g each with a mean shell length of 5.2 cm, were placed in 30 × 60 × 30 cm-glass aquaria and placed outdoors with a static water system (no water exchange, but aeration provided throughout the experiment). Water quality was monitored for chlorophyll *a*, total ammonia nitrogen (TAN), nitrate, nitrite, phosphate, total suspended solids (TSS),

¹Phangnga Agriculture and Technology College, Takua Thung, Phangnga 82130 ²Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹วท.ม. (วาริชศาสตร์) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพังงา อำเภอตะกั่วทุ่ง จังหวัดพังงา 82130 ²Ph.D. (Fisheries and Allied Aquacultures) รองศาสตราจารย์ ³Ph.D. (Aquatic Environmental Science) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : csommai@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 24 ตุลาคม 2544

รับลงพิมพ์ 8 พฤษภาคม 2545

BOD, salinity and temperature before adding the oysters and at 1, 2, 4, 6, 8, 10 and 16 days afterward. It was found that the correlation coefficients between oyster density and concentrations of chlorophyll *a*, TSS and BOD were negative, but positive for the correlation between oyster density and TAN. Thirty g oyster/l at 4 days was the most efficient treatment based on the percentage decrease of chlorophyll *a*, TAN, TSS and BOD (86.54%, 15.56%, 47.26% and 79.35%, respectively), all of which values are in acceptable safety ranges for aquatic animals. With treatments longer than 4 days, or densities over 30 g oyster/l, the TAN concentration increased with time and BOD exceeded the safety standard. At 70 g oyster/l, the oyster mortality was greater than 10% after 16 days of the experiment, at which time the experiment was terminated.

Key words : *Crassostrea belcheri*, *Penaeus monodon*, shrimp pond effluent, treatment

บทคัดย่อ

ประทีป สองแก้ว สมหมาย เขียววารีสีจจะ และ เสาวภา อังสุภาณิช
การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) แบบพัฒนา
โดยใช้หอยตะไกรกรมขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby)

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2545 24(4) : 621-631

ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) แบบพัฒนาโดยใช้หอยตะไกรกรมขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby) ใช้น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย จังหวัดสงขลา ทำการทดลองในระบบบ่อน้ำนิ่งที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่ให้อากาศตลอดเวลา ใช้ตู้กระจกขนาด 30 × 60 × 30 ซม. วางกลางแจ้ง โดยใช้หอยขนาดน้ำหนักเปียกตัวละ 25+5 กรัม ความยาวเปลือกเฉลี่ยตัวละ 5.2 ซม. แบ่งการทดลองออกเป็น 8 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 กรัม/ลิตร วิเคราะห์คุณภาพน้ำหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนียรวม ไนโตรเจน ไนไตรท์ ฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด บีโอดี ความเค็ม และอุณหภูมิของน้ำ ก่อนใส่หอย และหลังจากนั้น 1, 2, 4, 6, 8, 10 และ 16 วัน ผลปรากฏว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดี เป็นไปในลักษณะแปรกลับกัน แต่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณแอมโมเนียรวม เป็นไปในลักษณะแปรตามกัน ความหนาแน่นของหอย 30 กรัม/ลิตร หลังการทดลอง 4 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำได้ดีที่สุด เพราะปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนียรวม ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และบีโอดีลดลงจากวันเริ่มต้น 86.54%, 15.56%, 47.26% และ 79.35% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อระยะเวลาเกิน 4 วัน หรือความหนาแน่นของหอยมากกว่า 30 กรัม/ลิตร พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น และค่าบีโอดียิ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และในวันที่ 16 ชุดการทดลองที่ใช้หอย 70 กรัม/ลิตร มีหอยตายมากกว่า 10% จึงยุติการทดลอง

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนานับเป็นอาชีพหนึ่งที่สำคัญของประเทศในปัจจุบัน เพราะสามารถผลิตกุ้งส่งออกไปขายต่างประเทศได้ปีละหลายล้านบาท อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศมากกว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบดั้งเดิม เนื่องจากการ

เลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาเป็นการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นใช้อาหารสำเร็จรูปเป็นหลักและให้อาหารสดเสริมในช่วงระยะเวลาเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง รวมทั้งมีการใช้สารเคมีตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (คณิต และคณะ, 2535) เช่น ยาฆ่าเชื้อและพาหะของโรค ยารักษาโรค สารปรับปรุง

ดิน สารฆ่าแมลงที่ตอนพืช สารเบื่อปลา และปุ๋ย เป็นต้น (Primavera *et al.*, 1993) ดังนั้นหากการจัดการระบบการเลี้ยงไม่ดีจะมีผลทำให้อาหาร ของเสียที่ขับถ่ายออกจากตัวกุ้งและสารเคมีบางส่วนเหลือตกค้างอยู่บริเวณบ่อ (คณิตและคณะ, 2535) Briggs และ Funge-Smith (1994) รายงานว่า 31% ของไนโตรเจน และ 84% ของฟอสฟอรัสที่ใส่เข้าไปในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาของไทยจมลงไปอยู่ในตะกอนก้นบ่อและจะถูกย้ายออกจากบ่อภายหลังการจับกุ้งแต่ละรุ่น และ 35% ของไนโตรเจน และ 10% ของฟอสฟอรัสที่ถูกย้ายออกจากบ่อถูกปล่อยออกไปกับน้ำทิ้ง ทั้งนี้ผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่มักปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งแต่อย่างใด ก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางน้ำ ส่งผลให้ปริมาณสัตว์น้ำและคุณสมบัติของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์ซีปลาวาฟหรือ น้ำเปลี่ยนสี (Red Tide) เนื่องจากแพลงก์ตอนในธรรมชาติได้รับสารอาหารจากน้ำทิ้งแล้วเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณมาก ส่งผลให้สัตว์น้ำในบริเวณนั้นตายเพราะขาดออกซิเจนและอาจมีสารพิษจากแพลงก์ตอนพืชสะสมในหอย (MacLean, 1991) ผลจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการปล่อยน้ำทิ้งซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มากเกินไปจะรองรับได้ ทำให้รัฐบาลโดยการผลักดันของกรมประมงได้ออกประกาศกฎกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เกี่ยวกับการจดทะเบียนฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา สำหรับผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาจะต้องขออนุญาตจากเจ้าหน้าที่กรมประมงก่อน ถ้ามีพื้นที่การเลี้ยงกุ้งมากกว่า 50 ไร่ จะต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งประมาณ 10% ของพื้นที่การเลี้ยงทั้งหมด และน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 10 มก./ล. (คณิต และ ดุสิต, 2535)

นอกจากการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น สร้างบ่อพักน้ำแล้ว ยังมีการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพ เช่น Helfrich และคณะ (1995) ใช้หอยแมลงภู่ (*Elliptio complanata*) บำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ 37% ในประเทศไทยก็มีการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

กุลาดำแบบพัฒนาโดยใช้หอยแมลงภู่ โดยธนัญญา (2537) รายงานว่าหอยแมลงภู่ (*Perna sp.*) สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ 83.40% และ 27.49% ตามลำดับ ส่วนคณิตและดุสิต (2535) พบว่าหอยแมลงภู่ (*Mytilus sp.*) สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ถึง 98.73% นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีการใช้หอยนางรม (*Crassostrea virginica*) บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้ง (*Penaeus vannamei*) ที่รัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Wang, 1990 อ้างโดย Phillips, 1995) กลไกที่ช่วยให้การบำบัดน้ำโดยใช้หอยสองฝามีประสิทธิภาพคือ หอยสองฝามีการกรองกินแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์น้ำขนาดเล็กที่เน่าเปื่อย อนุภาคสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์เป็นอาหาร (Huner and Brown, 1985) โดยซี่เหงือก (gill filament) ทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองในกลไกของการกินอาหาร และคัดเอาขนาดอนุภาคของอาหารที่เหมาะสมเข้าไปในระบบการย่อยอาหารเท่านั้น (Saleuddin and Wilbur, 1983)

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของหอยตะไคร่ (*Crassostrea belcheri*) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยเฉพาะการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแข็งแขวนลอยในน้ำ และบีโอดี หากหอยตะไคร่สามารถลดค่าเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ก็จะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำธรรมชาติ และจะเป็นผลดีต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา โดยเก็บน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาบริเวณประตูระบายน้ำออกเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้ง 118 วัน โดยสูบน้ำระดับกึ่งกลางของน้ำที่ระบายออก ใส่ถังไฟเบอร์กลาสขนาดบรรจุน้ำ 1,000 ลิตร แล้วนำไปใส่ตุ้มทดลอง น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากการเลี้ยงระบบพัฒนา พื้นที่บ่อขนาด 2 ไร่ เตรียมบ่อโดยการ

ตากบ่อให้แห้งประมาณ 1 เดือน ทำการไถพรวนด้วยรถไถเดินตามแล้วโรยปูนขาว 200 กก. เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ใช้กากชา ปูนโดโลไมท์ ปุ๋ยอินทรีย์ และมูลไก่ในการเตรียมสื่อน้ำ 10 วัน ก่อนปล่อยลูกกุ้งระยะโพสท์ลาร์วา 15 (P15) อายุ 1 เดือน เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 30 ตัว/ตร.ม. มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งแรกเมื่อระยะเวลาการเลี้ยง 45 วัน โดยถ่ายน้ำออกประมาณ 40 ซม. จากระดับน้ำในบ่อ 1.5 เมตร แล้วเติมให้ได้ระดับเดิม หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 7 วัน/ครั้ง หากคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เหมาะสม ก็จะมีการถ่ายน้ำถี่ขึ้นโดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งละ 30-60% ให้อาหารกุ้งสำเร็จรูปยี่ห้อสตาร์ฟีดเป็นหลักวันละ 5 มื้อ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และให้อาหารเสริมแร่ธาตุจำพวกวิตามินซี และจุลินทรีย์สัปดาห์ละ 2 ครั้ง

หอยตะไกรกรมขาว (*Crassostrea belcheri*)

ปรับสภาพของหอยตะไกรกรมขาวซึ่งรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณบ้านบางพัฒนา ต.บางเตย อ.เมือง จ.พังงา โดยนำหอยใส่ในกระชังขนาด 1.5 × 1.5 × 0.5 เมตร ที่ปูด้วยอวนขนาดตา 1 นิ้ว ผูกวางไว้บริเวณกระชังเลี้ยงปลาเก่าที่บ้านหัวเขาแดง อ.สิงหนคร จ.สงขลา เนื่องจากบริเวณนี้มีความเค็มเท่ากับบริเวณที่รวบรวมหอยจากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ 28 ppt โดยเลี้ยงปรับสภาพเป็นระยะเวลามากกว่า 1 เดือน แล้วนำมาปรับสภาพความเค็มและอุณหภูมิในบ่อพักน้ำของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย ซึ่งมีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ปรับสภาพอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนการทดลอง

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) โดยนำหอยตะไกรกรมขาวมาปรับสภาพในบ่อพักน้ำ 7 วัน ก่อนทำการทดลอง ใช้หอยตะไกรกรมขาวน้ำหนักสดพร้อมเปลือกตัวละ 25±5 กรัม ขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 5.2 ซม. ใส่ตะกร้าพลาสติกนำไปแขวนในตู้กระจกขนาด 30 × 60 × 30 ซม. ที่บรรจุน้ำทั้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ตัวละ 30 ลิตร โดยใช้ระบบน้ำนิ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่ให้อากาศตลอดเวลา

จำนวน 8 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใช้หอยตะไกรกรมขาว (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 10 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 11 ตัว

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 20 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 21 ตัว

ชุดการทดลองที่ 4 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 30 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 32 ตัว

ชุดการทดลองที่ 5 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 40 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 43 ตัว

ชุดการทดลองที่ 6 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 50 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 55 ตัว

ชุดการทดลองที่ 7 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 60 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 65 ตัว

ชุดการทดลองที่ 8 ใช้หอยตะไกรกรมขาวอัตรา 70 กรัม/ลิตร เฉลี่ยซ้าละ 77 ตัว

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำจากตู้กระจกที่วันเริ่มต้นก่อนใส่หอย และระยะเวลา 1, 2, 4, 6, 8, 10, 16 และ 20 วันหลังจากใส่หอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเวลา 08.00-09.00 น. เป็นประจำทุกวันๆ ละ 1 ลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำต่อไป วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*) แอมโมเนียรวม (total ammonia Nitrogen; TAN) ไนเตรท (Nitrate) ไนไตรท์ (Nitrite) และฟอสเฟต (Phosphate) ใช้วิธีของ Strickland และ Parsons (1972) วิเคราะห์หาค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) โดยใช้วิธีของ APHA และคณะ (1995) วัดความเค็ม โดยใช้ Salinorefractometer และวัดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

อัตราการตาย

ตรวจสอบการตายของหอยตะไกรกรมขาวโดยดูการปิด-เปิดของเปลือกหอยและใช้วิธีการยกตะกร้าพลาสติกที่บรรจุหอยตรวจดูเป็นประจำทุกวัน หากหอยมีชีวิตจะ

แสดงการปิด-เปิดของฝาเมื่อยกตะกร้าพลาสติกขึ้นมาเหนือ น้ำ ถ้าหอยเปิดเปลือกฝาตลอดเวลาแสดงว่าหอยตาย เมื่อพบว่าหอยตายก็นำหอยออกไป หากหอยในหน่วยการทดลองใดตายถึง 10% ก็หยุดการทดลองทั้งหมด สำหรับ อัตรารอดตายคำนวณ ดังนี้

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนหอยที่มีชีวิตเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนหอยที่มีชีวิตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์หสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร คุณภาพน้ำต่างๆ กับความหนาแน่นของหอย โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 7.5 และ Excel'97 ของบริษัท Microsoft Corporation Ltd.

ผลการทดลอง

1. คุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยหอยตะไกรกรมขาว

1.1 คลอโรฟิลล์ เอ

หลังการทดลอง 1 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงจากวันเริ่มต้นน้อยที่สุด โดยชุดควบคุมลดลงน้อยที่สุด เท่ากับ 8.47% (จาก 365.42 ไมโครกรัม/ลิตร เหลือ 336.73 ไมโครกรัม/ลิตร) และชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 74.71% (จาก 353.95 ไมโครกรัม/ลิตร เหลือ 89.85 ไมโครกรัม/ลิตร) หลังการทดลอง 16 วัน ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงจากวันเริ่มต้นมากที่สุด โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร ลดลงมากที่สุดถึง 99.21% (จาก 353.95 ไมโครกรัม/ลิตร เหลือ 2.80 ไมโครกรัม/ลิตร) รองลงมา คือชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 60 กรัม/ลิตร ลดลง 99.16% (จาก 313.93 ไมโครกรัม/ลิตร เหลือ 2.57 ไมโครกรัม/ลิตร) ทั้งนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการทดลองที่เพิ่มขึ้น (Figure 1)

สัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เป็นไปในลักษณะแปรกลับกัน โดยพบว่าหลังการทดลอง 1, 2, 4 และ 6 วัน มีความ

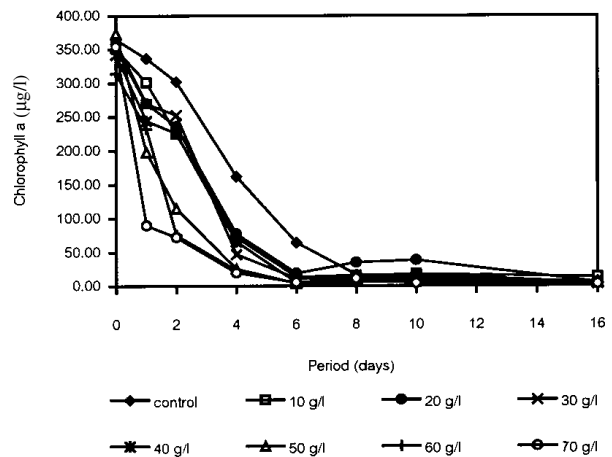


Figure 1. Mean chlorophyll a concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยหลังการทดลอง 4 วัน มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ($r = -0.722$) (Table 1)

1.2 แอมโมเนียรวม

หลังการทดลอง 1 วัน ปริมาณแอมโมเนียรวมในทุกชุดการทดลองลดลงจากวันเริ่มต้น ยกเว้นชุดที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร และช่วงระยะเวลาการทดลอง 4-8 วัน ปริมาณแอมโมเนียรวมเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด แล้วลดลงต่ำสุดหลังการทดลอง 10 วัน หลังจากนั้นก็เพิ่มขึ้นอีก สำหรับชุดควบคุมหลังจากผ่านไป 2 วัน ปริมาณแอมโมเนียรวมค่อนข้างคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (Figure 2)

สัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณแอมโมเนียรวม ตลอดระยะเวลาการทดลอง เป็นไปในลักษณะแปรตาม และพบว่าหลังการทดลอง 1, 2, 4 และ 6 วัน มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยหลังการทดลอง 4 วัน มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ($r = 0.815$) (Table 1)

1.3 ไนเตรท

ในช่วง 6 วันแรก ทุกชุดการทดลองที่ใช้หอยมีปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่าค่อนข้างคงที่ในชุดควบคุม หลังจากนั้นในช่วง 6-8 วัน ปริมาณไนเตรทในชุดการทดลองที่ใช้หอยเพิ่มขึ้นมาก หลังจากการทดลอง

Table 1. Correlation coefficients between oyster density and water quality.

Parameter	Period (days)						
	1	2	4	6	8	10	16
1. Chlorophyll <i>a</i>	-0.671**	-0.685**	-0.722**	-0.556**	-0.469*	-0.339	-0.373
2. Ammonia	0.796**	0.768**	0.815**	0.755**	0.418*	0.348	0.484*
3. Nitrate	0.851**	0.767**	0.866**	0.784**	0.896**	0.883**	0.703**
4. Nitrite	0.822**	0.882**	0.879**	0.905**	0.869**	0.813**	0.762**
5. Phosphate	0.377	0.436*	0.583**	0.541**	0.543**	0.541**	0.592**
6. TSS	-0.261	-0.785**	-0.571**	-0.708**	-0.003	0.122	-0.402
7. BOD	-0.637**	-0.748**	-0.389	-0.531**	-0.320	-0.147	-0.353

* Correlations are significant at 5% (P<0.05) ** Correlations are significant at 1% (P<0.01)

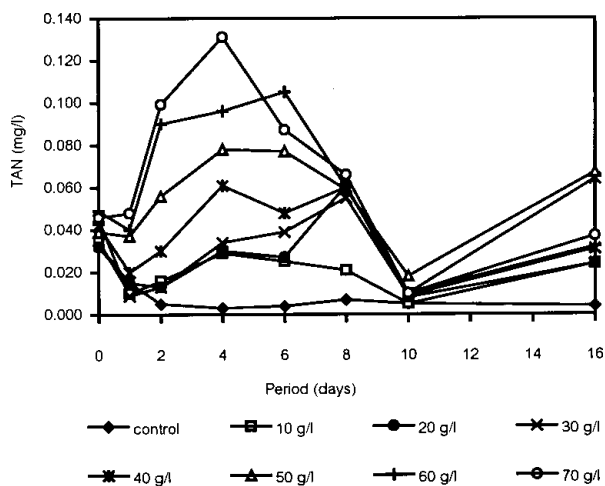


Figure 2. Mean total ammonia nitrogen (TAN) concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

ผ่านไป 8 วันปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มลดลง (Figure 3) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณไนเตรท ตลอดระยะเวลาการทดลองเป็นไปในลักษณะแปรตาม และมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยหลังการทดลอง 8 วัน มีค่าความสัมพันธ์กันมากที่สุด (r = 0.896) (Table 1)

1.4 ไนไตรท์

ในช่วง 2 วันแรก ปริมาณไนไตรท์ในทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หลังจากนั้น

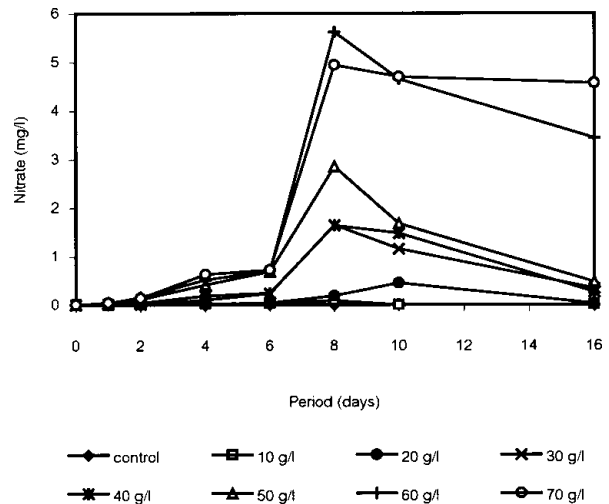


Figure 3. Mean nitrate concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

ปริมาณไนไตรท์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง และในช่วงวันที่ 8-10 ปริมาณไนไตรท์ในทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร มีปริมาณไนไตรท์เพิ่มมากที่สุด ส่วนชุดการทดลองอื่นมีปริมาณไนไตรท์ลดลง (Figure 4)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณไนไตรท์ ตลอดระยะเวลาการทดลองเป็นไปในลักษณะแปรตาม และมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P < 0.01) โดยหลังการทดลอง 6 วัน มีค่าความสัมพันธ์กัน

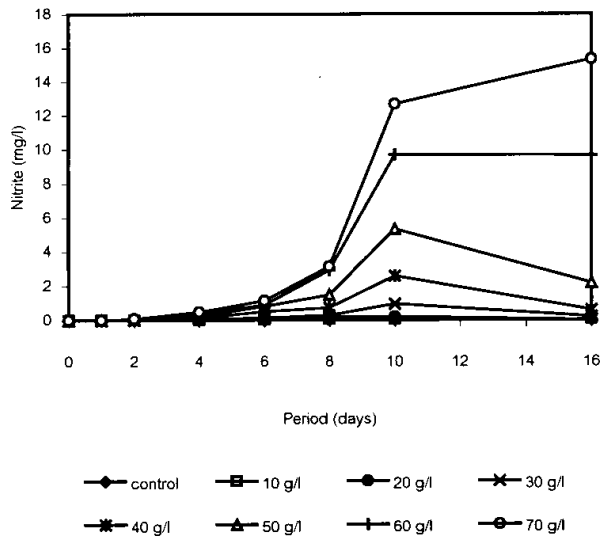


Figure 4. Mean nitrite concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

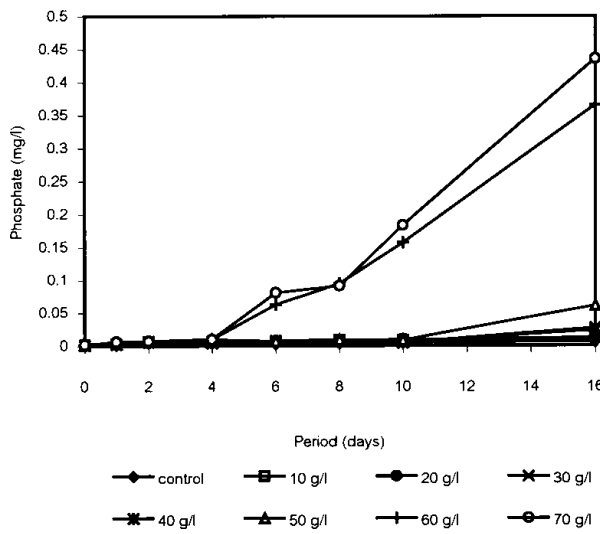


Figure 5. Mean phosphate concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

มากที่สุด ($r=0.905$) (Table 1)

1.5 ฟอสเฟต

ในช่วง 10 วันแรก เกือบทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟอสเฟตเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หลังจากนั้นทุกชุดการ

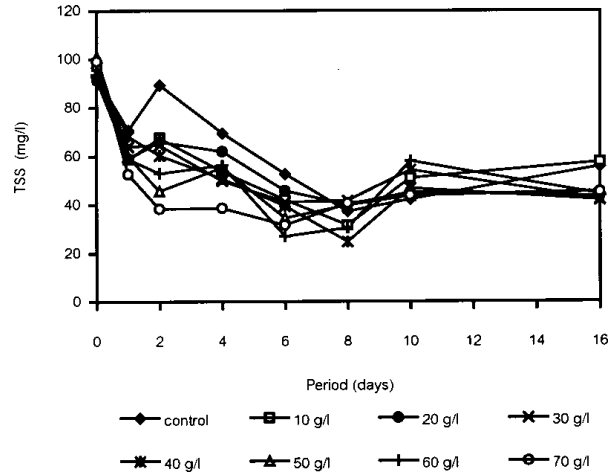


Figure 6. Mean total suspended solids (TSS) concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

ทดลองมีปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 60 และ 70 กรัม/ลิตร มีปริมาณฟอสเฟตเพิ่มมากกว่าชุดการทดลองอื่น (Figure 5)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณฟอสเฟต เป็นไปในลักษณะแปรตามเกือบตลอดระยะเวลาการทดลอง และมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยหลังการทดลอง 16 วัน มีค่าความสัมพันธ์กันมากที่สุด ($r = 0.592$) (Table 1)

1.6 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นการทดลองถึง 8 วัน ทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงจากเริ่มต้นการทดลอง โดยเฉพาะหลังการทดลอง 1, 2 และ 4 วัน ชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตรลดลงมากกว่าชุดการทดลองอื่น หลังการทดลอง 8 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น และลดลงอีกครั้งหลังการทดลอง 10 วัน ยกเว้นชุดควบคุมและชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร มีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าชุดการทดลองอื่น (Figure 6)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเป็นไปในลักษณะแปรกลับกัน ยกเว้นหลังการทดลอง 10 วัน และพบว่าหลังการทดลอง 2, 4 และ 6 วัน มีความสัมพันธ์กันอย่าง

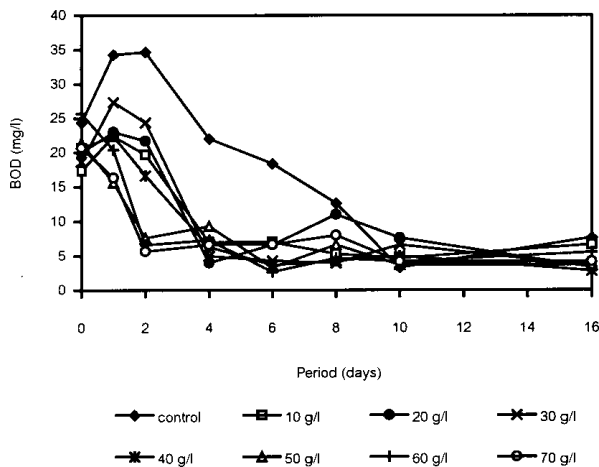


Figure 7. Mean BOD concentrations in the effluent from intensive culture of black tiger shrimp treated with 25-g oyster, 8 densities.

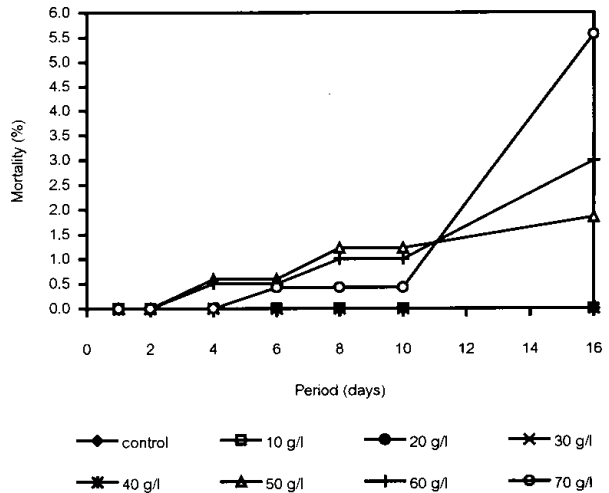


Figure 8. Mortality rate from 8 densities of 25-g oysters used to treat effluent from intensive culture of black tiger shrimp.

มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยหลังการทดลอง 2 วัน มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ($r = -0.785$) (Table 1)

1.7 บีโอดี

ปริมาณบีโอดีในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นเกือบตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยเพิ่มสูงสุดในวันที่ 2 แล้วจึงลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าต่ำสุดในวันที่ 10 แล้วกลับเพิ่มขึ้นอีกในวันที่ 16 ส่วนชุดการทดลองที่ใช้หอยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของบีโอดีมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม โดยในช่วงระยะเวลา 1-2 วัน มีค่าความเข้มข้นของบีโอดีเพิ่มสูงสุด ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่นตั้งแต่ 50 กรัม/ลิตร ขึ้นไป มีค่าลดลงในวันที่ 1-2 แล้วเพิ่มขึ้นหลังวันที่ 4 ส่วนชุดการทดลองอื่นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 4 หลังจากนั้นค่าความเข้มข้นของบีโอดีเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Figure 7)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับค่าบีโอดีเป็นไปในลักษณะแปรกลับกัน และพบว่าหลังการทดลอง 1, 2 และ 6 วัน มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยหลังการทดลอง 2 วัน มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ($r = -0.748$) (Table 1)

ในระหว่างการศึกษาทดลอง ความเค็มและอุณหภูมิของน้ำในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยความเค็มเริ่มต้นที่ 14 ppt แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 22 ppt

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 28.6-32.4 °C

2. อัตราการตายของหอยตะไกรกรมขาว

จากการทดลองปรากฏว่าหลังการทดลอง 16 วัน มีค่าเฉลี่ยอัตราการตายสะสมของหอยอยู่ในช่วง 0-5.56% โดยชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 10, 20, 30 และ 40 กรัม/ลิตร ไม่มีหอยตาย ส่วนชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการตายสะสมมากที่สุดเท่ากับ 5.56% (อยู่ในช่วง 0-15.38%) รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 60 และ 50 กรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการตายสะสม 2.99% และ 1.85% ตามลำดับ (Figure 8) จึงยุติการทดลอง

สรุปและวิจารณ์

หอยตะไกรกรมขาวสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแขวนลอยทั้งหมดและบีโอดี ลดลง โดยกลไกสำคัญที่ช่วยให้การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยหอยตะไกรกรมขาวในระบบนี้มีประสิทธิภาพ คือ 1) การกรองกินอาหาร

ของหอย และ 2) ความหนาแน่นของหอยและระยะเวลาการทดลอง โดยความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของหอยกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เป็นไปในลักษณะแปรกลับกัน กล่าวคือเมื่อหอยมีความหนาแน่นมากขึ้นก็มีการกรองกินแพลงก์ตอนพืชมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ยังลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของคณิตและดุสิต (2535) ซึ่งพบว่าจากการใช้หอยแมลงภู่น้ำหนัก 400 กรัม/น้ำ 200 ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ได้ 30.50%, 73.10%, 87.78% และ 98.73% ที่ระยะเวลาการทดลอง 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความหนาแน่นของหอยกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำก็ไปในลักษณะแปรกลับกัน สอดคล้องกับการทดลองของคณิตและดุสิต (2535) และ ธนิษฐา (2537) ที่ใช้หอยแมลงภู่น้ำหนัก 400 กรัม/น้ำ 200 ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

อัตราความหนาแน่นของหอยตะไกรกรมกรามขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำระบบนี้ คือ 30 กรัม/ลิตร และควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก 4 วัน เนื่องจากคุณภาพน้ำทิ้งจากการบำบัดด้วยหอยตะไกรกรมกรามขาวในช่วงระยะเวลาดังกล่าวลดลงอยู่ในระดับที่เหมาะสมและไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำลดลงเหลือ 50.00 มก./ล. และบีโอดีลดลงเหลือ 3.83 มก./ล. ซึ่งเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำคือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 25-80 มก./ล. และบีโอดีไม่เกิน 4 มก./ล. (คณิต และยงยุทธ, 2537) ซึ่งชุดการทดลองดังกล่าว หอยไม่ตายตลอดระยะเวลาการทดลอง หลังการทดลอง 16 วัน ชุดการทดลองที่ใช้หอยหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร มีอัตราการตายสะสมเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 5.56% ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง 99.21% และปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 1,696,525.71% (จาก 0.0009 มก./ล. เป็น 15.3278 มก./ล.) ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจากหอยหนาแน่นที่สุด จึงขับถ่ายแอมโมเนียออกมามาก เหลือแพลงก์ตอนพืชที่จะดูดซับแอมโมเนียน้อย แอมโมเนียจึงอาจถูกแบคทีเรียเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ จนทำให้ไนไตรท์ในตู้ทดลองเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ไนไตรท์เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Wetzel, 1975) ทำให้หอยตายได้ ซึ่งจากการทดลองของสุวิวัฒน์และคณะ (2541)

รายงานว่า การเลี้ยงหอยตะไกรกรมกรามขาวขนาดความยาวเปลือก 3.47 ซม. ในกระบะขนาด 1 x 1 ตร.ม. ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการหมุนเวียนของน้ำตลอดเวลา โดยทำความสะอาดหอยเดือนละครั้ง ปรากฏว่าความหนาแน่น 25 ตัว/ตร.ม. มีอัตราการรอดตาย 85.6% และเมื่ออัตราความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 200 ตัว/ตร.ม. มีอัตราการรอดตาย 68.6% แสดงให้เห็นว่าอัตราความหนาแน่นที่มากขึ้นทำให้อัตราการรอดตายต่ำลง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้หอยตะไกรกรมกรามขาวกับหอยชนิดอื่น ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะการใช้หอยแมลงภู่น้ำหนัก (Elliptio complanata) บำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนที่ประเทศสหรัฐอเมริกา หอยขนาดน้ำหนักตัวละ 123 กรัม ในอัตราความหนาแน่น 0.6 ตัว/ลิตร (หรือ 74 กรัม/ลิตร) ที่ระยะเวลาการทดลอง 1 วัน สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ 37% (Helfrich et al., 1995) ซึ่งประสิทธิภาพการกรองดีกว่าหอยตะไกรกรมกรามขาวที่อัตราความหนาแน่นใกล้เคียงกัน กล่าวคือการใช้หอยตะไกรกรมกรามขาวขนาดน้ำหนักตัวละ 25 กรัม อัตราความหนาแน่น 70 กรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาการทดลอง 1 วัน สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ 46.47% และการใช้หอยแมลงภู่น้ำหนัก (Perna sp.) ขนาดน้ำหนักตัวละ 20 กรัม อัตราความหนาแน่น 7 กรัม/ลิตร บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบน้ำนิ่ง ระยะเวลาการทดลอง 10 วัน สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ 83.40% และ 27.49% ตามลำดับ (ธนิษฐา, 2537) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งของหอยแมลงภู่น้ำหนัก (Perna sp.) ดีกว่าการใช้หอยตะไกรกรมกรามขาว ซึ่งที่อัตราความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร หลังการทดลอง 10 วัน สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ 95.06% และ 46.86% ตามลำดับ ส่วนการใช้หอยแมลงภู่น้ำหนัก (Mytilus sp.) บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบน้ำนิ่ง อัตราความหนาแน่น 400 กรัม/น้ำ 200 ลิตร (หรือ 2 กรัม/ลิตร) ที่ระยะเวลาการทดลอง 2 วัน สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ 98.73% (คณิตและดุสิต, 2535) มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้หอยตะไกรกรมกรามขาวซึ่งที่อัตราความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร หลังการทดลอง 2 วัน สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ 36.11% สาเหตุนอกจากความแตกต่างของแหล่ง

น้ำที่ใช้ ขนาดและความหนาแน่นของหอยที่ต่างกันแล้ว อาจเนื่องจากประสิทธิภาพการกรองอนุภาคอาหารของ หอยแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยหอยตะไกรมกรามขาว สามารถกรองกินอนุภาคอาหารที่มีขนาด 6-12 ไมโครเมตร ได้ดี (Hawkins et al., 1998) ในขณะที่หอยแมลงภู่ (*Dreissena polymorpha*) สามารถกรองอนุภาคอาหาร ขนาด 1.5 ไมโครเมตร ได้ดีที่สุด (Lei et al., 1996) และ หอยสองฝา (*Mercenaria mercenaria*) สามารถกรอง อนุภาคอาหารขนาด 3.5 ไมโครเมตร ได้ดีที่สุด (Jogenson, 1990)

การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้หอยตะไกรมกราม ขาวบำบัดน้ำทิ้ง สามารถทำได้โดย

1) ใช้หอยตะไกรมกรามขาวหลายขนาดรวมกัน เพราะน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งมีอนุภาคของอาหารหลายขนาด และหอยแต่ละขนาดย่อมกรองกินอาหารที่ขนาดแตกต่างกัน ซึ่ง Sphigel และคณะ (1997) ใช้หอยนางรม (*Crassostrea gigas*) บำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาเกล็ดที่เสด ซีบรีม (*Sparus auratus*) ปรากฏว่าหอยขนาดน้ำหนักตัว ละ 22 กรัม ลดความขุ่นได้น้อยที่สุด (52%) หอยขนาด น้ำหนักตัวละ 7 กรัม ลดความขุ่นได้ 64% ส่วนการผสม หอยทั้ง 2 ขนาด ในอัตราส่วนที่เท่ากัน สามารถลดความ ขุ่นได้มากที่สุดถึง 66%

2) ใช้การบำบัดน้ำทิ้งแบบผสมผสาน เพราะว่าหอย ตะไกรมกรามขาวสามารถบำบัดน้ำบางพารามิเตอร์เท่านั้น โดยเฉพาะของแข็งแขวนลอย จึงควรมีบ่อกักน้ำเพื่อให้ ของแข็งแขวนลอยบางส่วนตกตะกอน เนื่องจากปริมาณ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้ง กูลาดำมีขนาดแตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณของแข็ง แขวนลอยทั้งหมดที่มีขนาดใหญ่และหอยตะไกรมกรามขาว กรองกินไม่ได้จะตกตะกอนในบ่อนี้ แล้วนำน้ำผ่านมายัง ระบบบำบัดสารมลพิษต่างๆ ที่ละลายน้ำ เช่น ใช้สารร้าย ผมนาง ช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ และ ฟอสฟอรัส ได้ (อภิรักษ์, 2536) จากนั้นจึงนำน้ำผ่าน มายังบ่อบำบัดด้วยหอยตะไกรมกรามขาว ซึ่งสามารถลด ปริมาณของคลอโรฟิลล์ เอ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดใน น้ำ และบีโอดี ได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ดร.จิราพร เกษรจันทร์ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย จ.สงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมทั้งนักวิชาการของศูนย์ฯ คือ คุณพิษณุ นานันต์ คุณอุษณี เอกปณิธานพงศ์ และ ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือเป็นอย่างดี และ David Patterson อาจารย์พิเศษ ภาควิชาภาษาและภาษาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยตรวจแก้ภาษาอังกฤษ

เอกสารอ้างอิง

- คณิต ไชยคำ และ ดุสิต ต้นวิไล. 2535. การทดลองใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายผมนางบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2535. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- คณิต ไชยคำ และ ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- คณิต ไชยคำ พุทธ ส่องแสงจินดา และ ดุสิต ต้นวิไล. 2535. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2535. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ธนัฐา ธีรภัษพันธ์. 2537. การทดลองการใช้หอยแมลงภู่เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล
- สุวัฒน์ ธนานุภาพไพศาล สอรัฐ มากบุญ และ รัชฎา ขาวหุนนา. 2541. เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหอยตะไกรม (*Crassostrea belcheri*) ด้วยการเลี้ยงแบบต่างๆ. รายงานการวิจัยปี 2541. สุราษฎร์ธานี : ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสุราษฎร์ธานี กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- อภิรักษ์ จันทวงศ์. 2536. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) แบบพัฒนาโดยใช้สาหร่ายผมนาง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition. Washington, D.C. : American Public Health Association.
- Briggs, M.R.P. and Funge-Smith, S.J. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. *Aquaculture and Fisheries Management* 25 : 789-811.
- Hawkins, A.J.S., Smith, R.F.M., Tan, S.H. and Yazin, Z.B. 1998. Suspension feeding behaviour in tropical bivalve molluscs : *Perna viridis*, *Crassostrea belcheri*, *Crassostrea iradelei*, *Saccostrea cucullata* and *Pinctada margarifera*. *Marine Ecology Progress Series* 166 : 173-185.
- Helfrich, L.A., Zimmerman, M. and Weigmann, D.L. 1995. Control of suspended solids and phytoplankton with fishes and a mussel. *Water Resources Bulletin* 31 : 307-316.
- Huner, J.V. and Brown, E.E. 1985. Crustacean and Mollusk Aquaculture in the United States. Louisiana : Avi Publishing Company Inc.
- Joergensen, C.B. 1990. Bivalve Filter Feeding : Hydro-dynamics, Bioenergetics, Physiology and Ecology. Fredensborg : Olsen and Olsen.
- Lei, J., Payne, B.S. and Wang, S.Y. 1996. Filtration dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 53 : 29-37.
- MacLean, J.L. 1991. Red tides and Asian seafarming. Report on a Regional Study and Workshop on Fish Disease and Fish Health Management. Asian Development Bank, Manila, Philippines. No. 1. pp. 601-605.
- Phillips, M.J. 1995. Shrimp culture and environment. **In** Towards Sustainable Aquaculture in Southeast Asia and Japan. (eds. T.U. Bagarinao and E.E.C. Flores). pp. 37-62. Iloilo : SEAFDEC Aquaculture Development.
- Primavera, J.H., Lavilla-Pitogo, C.R., Ladja, J.M. and Pena, M.R.D. 1993. A survey of chemical and biological products used in intensive prawn farms in the Philippines. *Marine Pollution Bulletin* 26 : 35-40.
- Saleuddin, A.S.M. and Wilbur, K.M. 1983. The Mollusca. Vol. 5. New York : Academic Press Inc.
- Shpigel, M., Gasith, A. and Kimmel, E. 1997. A bio-mechanical filter for treating fish-pond effluents. *Aquaculture* 152 : 103-117.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd edition. Ottawa : Fisheries Research Board of Canada.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. Philadelphia : W.B. Saunders Company.

