

การบำบัดน้ำในการเลี้ยงปลาสวยงามโดยใช้พรรณไม้น้ำใต้น้ำ

มนิรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ^{*} สมศรี งามวงศ์ชน^๑ และนนุช เล่าหะวิสุทธิ^๒

^{*}สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด กรมประมง

^๒ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในระบบการเลี้ยงปลาตะเพียนทอง *Barbonymus altus* (Gunther, 1868) ร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ ชนิดต่างๆ บำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาในระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนทอง ด้วยระบบการเลี้ยงปลาตะเพียนทองอย่างเดียว ระบบปลาตะเพียนทองร่วมกับต้นเตป *Vallisneria spiralis* ระบบปลาตะเพียนทองร่วมกับสาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla verticillata* และระบบปลาตะเพียนทองร่วมกับสาหร่ายพวงชะโด *Ceratophyllum demersum* จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายหางกระรอกดีกว่าระบบอื่นๆ โดยสามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 32.24±1.32, 17.54±4.15, 35.59±1.49 และ 20.49±2.32 ตามลำดับ และมีการเจริญเติบโตของปลาและพรรณไม้น้ำดีที่สุด แตกต่างกับระบบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีน้ำหนักของปลาตะเพียนทองเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.71±0.27 กรัมต่อตัว และอัตราการรอด 98.33±0.88 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักสิ้นสุดของสาหร่ายหางกระรอกเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 157.08±4.52 กรัมต่อระบบ

คำสำคัญ : ระบบกรอง, พรรณไม้น้ำใต้น้ำ, ปลาตะเพียนทอง

^{*}สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด กรมประมง e-mail : maneeraw@fisheries.go.th

Water treatment aquarium fish culture by using submerged plants

Maneerat Wangwibulkit^{1*} Somsri Ngamwongchon¹ and Nongnuch Laohavisuthi²

¹Inland Fisheries Research and Development Institute, Department of Fisheries

²Department of Fisheries Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The system of raising red tailed tinfoil barb, *Barbonymus altus* (Gunther, 1868), together with growing submerged plant in coarse sand culture. This study aimed to improve water quality by using the aquatic plants. Aquatic plants growing in the system was utilized to refine the water in recirculation system of raising red tailed tinfoil barb. The treatment were fish culture for control and fish culture integrated with aquatic plants (*Vallisneria spiralis*, *Hydrilla verticillata* and *Ceratophyllum demersum*). It was found that the system of fish culture integrated with *Hydrilla verticillata* provided the best efficiency in reducing the percentages of ammonia, nitrite, nitrate and phosphate by 32.24±1.32, 17.54±4.15, 35.59±1.49 and 20.49±2.32 respectively. Moreover, weight of fish and *Hydrilla verticillata* was also increased by 2.71±0.27 grams/fish and 157.08±4.52 grams/system significantly (P<0.05), with the survival rate of fish 98.33±0.88%.

Keyword : Filtration, Submerged plant, Red tailed tinfoil, *Barbonymus altus*

*Inland Fisheries Research and Development Institute, Department of Fisheries e-mail : maneeraw@fisheries.go.th

บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันมีการปล่อยของเสียในรูปสารอินทรีย์ในปริมาณสูง ทำให้คุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ลดลง สารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$), ไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$), ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) สารประกอบฟอสฟอรัส เช่น ฟอสเฟต ($\text{PO}_4\text{-P}$) และ คาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณสูงขึ้น (Neori and Shpigel, 1999) ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำ เป็น ระบบที่ประยุกต์จากความสัมพันธ์ของปลาและสิ่งแวดล้อม การใช้ระบบการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมการเลี้ยงปลาสวยงามนี้ จะทำให้ของเสียจากการเลี้ยงปลาสวยงามซึ่งอยู่ในรูปของไนโตรเจนประมาณ 70-75 เปอร์เซ็นต์ จะถูกกำจัดภายในระบบ โดยถูกนำไปเป็นสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ แทนการถ่ายเทน้ำเลี้ยงปลาเพื่อกำจัดของเสีย โดยใน ระบบบ้ำบัดนั้น พรรณไม้น้ำทำหน้าที่ดึงไนโตรเจนด้วยกลไกต่างๆ (งนงนุช, 2544) ส่วนปลาสวยงามที่นิยมเลี้ยง ได้แก่ ปลาทอง ปลาคาร์ฟ ฯลฯ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการศึกษาการเลี้ยงปลาทองในระบบนี้มาแล้ว เนื่องจากปลาทองเลี้ยงง่าย โตเร็ว และเป็นปลาสวยงามที่นิยม อีกทั้งมีนิสัยการกินที่ชอบกินปริมาณมาก ทำให้ปริมาณของของเสียในน้ำมากด้วย (Bailey and Sandford, 2002) ทำให้เมื่อศึกษาทดลองจะเห็นข้อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองได้อย่างชัดเจน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ปลาตะเพียนทอง (*Barbonymus altus*) ซึ่งเป็นปลาพื้นเมืองของไทยที่นิยมเลี้ยงเป็นปลาตู้มีความสวยงาม ลำตัวสีเงิน วาว ครีบหลัง ครีบหาง และครีบกัน มีสีส้มหรือส้มแสด ด้านข้างมีสีเหลืองทอง (ชวลิต, 2547) ปลาตะเพียนทองเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว กินมาก ทำให้มีปริมาณของเสียขับถ่ายออกมาเหมาะสมในการใช้เป็นสัตว์ทดลอง นอกจากปลาสวยงามแล้วยังมีปลาที่บริโภคได้นิยมเลี้ยงในระบบนี้เช่นกัน ได้แก่ ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เลี้ยงร่วมกับผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) (Seawright et. al, 1998) ปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) เลี้ยงร่วมกับมะเขือเทศ (Watten and Busch, 1984) จะเห็นได้ว่าเป็นปลาและพืชชนิดที่ใช้บริโภคได้เลี้ยงร่วมกัน นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงปลานิล (*Tilapia aurea*) ร่วมกับสาหร่ายเดนซ่า (*Egeria densa*) และเตป (Vallisneria sp.) (Rakocy and Allison, 1981) เป็นต้น

ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงมีระบบบ้ำบัดน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่มีลงทุนสูง การนำระบบบ้ำบัดน้ำแบบชีวภาพมาใช้ในระบบการเลี้ยงปลา โดยใช้พรรณไม้น้ำมาเป็นตัวช่วยบำบัด จะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งเพิ่มรายได้จากผลผลิตพรรณไม้น้ำสวยงามด้วย ดังนั้นการบ้ำบัดน้ำในการเลี้ยงปลาสวยงามโดยใช้พรรณไม้น้ำได้นี้จะสามารถช่วยลดปริมาณของเสียจากน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา โดยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ทั้งยังช่วยลดต้นทุนการใช้น้ำและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรจากผลผลิตปลาและพรรณไม้น้ำได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพรรณไม้น้ำได้น้ำชนิดต่างๆ ในการบ้ำบัดน้ำที่เลี้ยงปลาตะเพียนทอง

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design) แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยใช้ปลาตะเพียนทองเป็นตัวแทนของปลาสวยงาม ระยะเวลาในการทดลอง 6 สัปดาห์ แต่ละชุดการทดลองมีดังนี้

ชุดที่ 1 เลี้ยงปลาตะเพียนทองอย่างเดียว

ชุดที่ 2 เลี้ยงปลาตะเพียนทอง + ระบบกรองที่ปลูกต้นเตป

ชุดที่ 3 เลี้ยงปลาตะเพียนทอง + ระบบกรองที่ปลูกสาหร่ายหางกระรอก

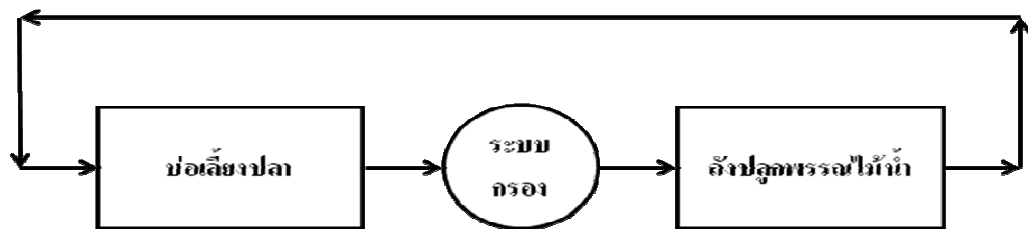
ชุดที่ 4 เลี้ยงปลาตะเพียนทอง + ระบบกรองที่ปลูกสาหร่ายพวงพระโค

นำปลาตะเพียนทองขนาดเฉลี่ย 6 เซนติเมตร จากฟาร์มมาทำการพักไว้ เพื่อให้คุ้นเคยกับการเลี้ยงและอาหารก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ในระหว่างการทดลองให้อาหาร 3 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักตัวปลา ต่อตัว ต่อวัน โดยให้อาหารวันละ

2 ครั้ง คือเวลาเช้าและเย็น ทุกๆ สัปดาห์ จะสูบล้างปลาตะเพียนทองไปซึ่งน้ำหนักและวัดความยาว และปรับอาหารที่ให้ตาม น้ำหนักตัวปลาที่เพิ่มขึ้น

เตรียมหน่วยทดลองของระบบ ได้แก่ บ่อเลี้ยงปลา ระบบกรอง และระบบปลูกพรรณไม้น้ำในบ่อ รายละเอียดของส่วนประกอบแต่ละส่วนมีดังนี้ (ภาพที่ 1)

1. บ่อเลี้ยงปลาเป็นถังสี่เหลี่ยมขนาด 250 ลิตร โดยเลี้ยงปลา จำนวน 100 ตัว และมีระบบการให้อากาศตลอดเวลา
2. ระบบกรอง ประกอบด้วย แผ่นกรองหยาบ และกรองละเอียด ใช้สำหรับดักตะกอนก่อนเข้าถังปลูกพรรณไม้น้ำ
3. ถังปลูกพรรณไม้น้ำเป็นแบบ coarse sand culture โดยใช้กรวดหยาบเป็นวัสดุปลูก ใส่กรวดหนาประมาณ 5 เซนติเมตร เติมน้ำและนำพรรณไม้น้ำได้น้ำ คือ ต้นเตป สาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพวงพระโต มาทำความสะอาดและปลูกในบ่อปลูก ความเข้มแสงเฉลี่ยประมาณ 1800 ลักซ์ ตลอดการทดลองไม่มีการถ่ายน้ำ แต่มีการเติมน้ำเข้าไปในระบบ ทุกๆ สัปดาห์ ให้ได้ระดับเท่าเดิม เนื่องจากน้ำมีการระเหย



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบการเลี้ยงปลาตะเพียนทองร่วมกับพรรณไม้น้ำได้น้ำชนิดต่างๆ ในระบบหมุนเวียนน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ สัปดาห์จนครบ 6 สัปดาห์ โดย ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 จุดๆ ละ 3 ซ้ำ คือจุดที่ 1 น้ำในบ่อเลี้ยงปลาตะเพียนทอง จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านระบบกรอง และจุดที่ 3 น้ำที่ผ่านกระบะปลูกพรรณไม้น้ำได้น้ำ โดยคุณภาพน้ำที่ทำกรวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature), ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO), แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$), ไนโตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$), ฟอสฟอรัส (orthophosphate), ความเป็นด่าง (alkalinity), ความกระด้าง (hardness), และการนำไฟฟ้า (conductivity)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Borges *et al*, 2003) ในแต่ละชุดการทดลอง ได้จากสูตร $E (\%) = [(Cb-Ca)/Cb] \times 100$ โดย

E = ประสิทธิภาพการบำบัด (%)

Cb = ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำก่อนเข้าระบบ

Ca = ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำออกที่ระบบ

2. การเจริญเติบโตของปลา และพรรณไม้น้ำ

นำข้อมูลน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาตะเพียนทองและพรรณไม้น้ำได้น้ำในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ด้วยโปรแกรม SPSS for Window Version 15.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองตามวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการคุณภาพน้ำ และอาคารสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำกรุงเทพฯ สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพรรณไม้น้ำในระบบต่างๆ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของพรรณไม้น้ำกลุ่มได้น้ำในระบบการเลี้ยงต่างๆ พบว่าทุกระบบสามารถลดปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดจากการเลี้ยงปลาได้ โดยสาหร่ายหางกระรอก มีประสิทธิภาพการบำบัดและสามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสเฟต ที่ละลายน้ำได้มากที่สุดถึงร้อยละ 32.24±1.32, 17.54±4.15, 35.59±1.49 และ 20.49±2.32 ตามลำดับ เนื่องจากสาหร่ายหางกระรอกเป็นสาหร่ายที่แพร่ขยายพันธุ์ และมีการเพิ่มจำนวนของกิ่งก้านและรากได้อย่างรวดเร็ว (สุชาดา, 2530) ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดของสาหร่ายพวงชะโดกับสาหร่ายหางกระรอก พบว่าสาหร่ายพวงชะโดมีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่า แม้ว่าทั้งพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด จะอยู่ในกลุ่มสาหร่ายเหมือนกัน แต่ลักษณะทางกายภาพนั้นมีความแตกต่างกันคือสาหร่ายพวงชะโดเป็นสาหร่ายที่ไม่มีระบบราก ลำต้นเป็นเส้นเล็ก ใบมีลักษณะเป็นเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายหางกระรอก ที่มีรากและลักษณะใบที่แผ่เป็นแผ่นบางเรียวยาว (สุชาดา, 2530) จึงทำให้สาหร่ายหางกระรอกมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่า เนื่องจากมีทั้งรากและพื้นที่ผิวของใบที่มีมากกว่าสาหร่ายพวงชะโด

ส่วนต้นเตปนั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่ำกว่าสาหร่ายหางกระรอก แต่สามารถลดปริมาณของไนโตรที่และฟอสฟอรัสได้ ไม่แตกต่างกับสาหร่ายหางกระรอก เนื่องจากมีใบที่ยาว แผ่นเคลือบไขมัน จึงมีพื้นที่ผิวมากสำหรับการดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมต้นของการทดลองที่เท่ากันในแต่ละระบบ ทำให้ต้นเตปที่เลี้ยงในบ่อมีจำนวนที่น้อยกว่า รวมทั้งอัตราการเจริญเติบโตของต้นเตปที่ขยายพันธุ์ได้ช้ากว่าสาหร่ายหางกระรอก แต่อย่างไรก็ตามต้นเตปมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าสาหร่ายพวงชะโด แม้ว่าสาหร่ายพวงชะโดจะเจริญเติบโตได้ดีและมีน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นเตป เนื่องจากสาหร่ายพวงชะโดขยายพันธุ์ได้รวดเร็วกว่าโดยเฉพาะในที่มีแสงแดดเพียงพอ และมีอุณหภูมิของน้ำที่ค่อนข้างเย็น (Stodola, 1987) ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในระบบที่ปลูกสาหร่ายพวงชะโดประมาณ 30.4±0.03 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2) จึงมีสภาพที่ค่อนข้างเหมาะสมจึงทำให้การเจริญเติบโตได้ดี แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายพวงชะโดที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ทำให้สามารถลดปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าต้นเตป ซึ่งจากการทดลองของ Rakocy and Allison (1981) ที่เลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายเดนซ่า และเตป พบว่าพรรณไม้น้ำดังกล่าวช่วยลดปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ได้ 85.8 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งนี้ ประสิทธิภาพของระบบในการทดลองของ Rakocy and Allison (1981) ลดปริมาณแอมโมเนียได้มากกว่า อาจเพราะในระบบการเลี้ยงมีการปลูกพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด ร่วมกัน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้มากกว่าการปลูกพรรณไม้น้ำเพียงชนิดเดียว

อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ใช้พรรณไม้น้ำพื้นเมืองของประเทศไทยช่วยในการบำบัดน้ำเลี้ยงปลา ซึ่งข้อดีของการใช้ระบบการบำบัดน้ำโดยใช้พรรณไม้น้ำธรรมชาติที่มีในท้องถิ่นที่สำคัญ คือต้นทุนต่ำ (DeBusk *et al.*, 1981; Reddy, 1987) นอกจากนี้พรรณไม้น้ำมีความสามารถพิเศษในการดูดซับธาตุอาหาร และสร้างสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ที่ขบวนการนี้มักมีคุณสมบัติในการส่งผ่านออกซิเจนจากอากาศเหนือน้ำลงไปสู่ราก และสามารถปลดปล่อยออกซิเจนสู่บริเวณรอบรากได้อีกด้วย ซึ่งจุลินทรีย์ที่อยู่โดยรอบสามารถใช้ออกซิเจนที่ปลดปล่อยออกมาจากรากสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ (สรปราชญ์ และคณะ, 2543) ความสามารถของพรรณไม้น้ำเหล่านี้ จะช่วยกรอง กำจัด บำบัด เร่งการตกตะกอน ดูดซับของเสียและแร่ธาตุต่างๆ ทำให้น้ำเสียที่ไหลผ่านมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น (กองประมงน้ำจืด, 2538)

2. คุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทั้ง 4 ระบบ พบว่าอุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนีย ไนโตรเจน และฟอสเฟต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความกระด้าง และไนเตรทไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 ระบบ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 2)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบเลี้ยงปลา ร่วมกับสาหร่ายทางธรรมชาติมีค่าเฉลี่ย 6.78 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 2) มากกว่าทุกระบบการเลี้ยง แต่ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับที่สัตว์น้ำพอนอาศัยอยู่ได้แต่การเจริญเติบโตไม่ดีคือ 1-4 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำคือต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1989)

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในทุกระบบมีค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบบกรงชีวภาพคืออยู่ระหว่าง 6-9 หากค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำกว่า 6 จะทำให้เกิดกระบวนการ Nitrification ลดลง หากค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่า 5.5 จะทำให้กระบวนการ Nitrification หยุดการทำงาน (Timmons and Losordol, 1994)

การนำไฟฟ้าในทุกระบบมีค่าสูงขึ้น ซึ่งระบบเลี้ยงปลาอย่างเดียวมีค่าการนำไฟฟ้าสูง แตกต่างกับระบบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากเป็นระบบปิดที่ไม่มีระบบพรรณไม้น้ำมาช่วยดูดซับแร่ธาตุต่างๆ ดังนั้นการสะสมของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในอาหารปลาทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น (ภาพที่ 2C) เช่นเดียวกับค่าความเป็นด่างที่มีค่าสูงกว่าระบบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าความเป็นด่างของทุกระบบลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากค่าความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นธาตุอาหารของแบคทีเรียกลุ่ม Nitrifying ที่ใช้ในการผลิตเซลล์ (Timmons and Losordol, 1994) แบคทีเรียจะกำจัดแอมโมเนียด้วยไบคาร์บอเนตจนหมด เป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นด่างของน้ำลดลงในเวลาต่อมา (ภาพที่ 2E)

ส่วนปริมาณของแอมโมเนียในช่วง 2 สัปดาห์แรก หลังจากปล่อยปลาลงเลี้ยงในทุกระบบแล้วจะมีปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้น (ภาพที่ 2G) เนื่องจากเมื่อเริ่มมีการกินอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการย่อยอาหารของปลา ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น (Quillert *et al.*, 1993) ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียยังคงมีปริมาณน้อย ทำให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์แอมโมเนียช้า จึงมีการสะสมอยู่ในระบบการเลี้ยง แต่หลังจาก 2 สัปดาห์ ปริมาณแอมโมเนียเริ่มลดลงเพราะมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่าในระบบการเลี้ยงปลาอย่างเดียว มีปริมาณแอมโมเนียมากกว่าระบบอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณของแอมโมเนียจะลดลง ในปริมาณที่น้อยกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากในระบบการเลี้ยงปลาอย่างเดียว ไม่มีพรรณไม้น้ำช่วยในการดูดซับแอมโมเนียในรูปที่สามารถนำไปใช้ได้ เช่นเดียวกับไนโตรเจนที่ระบบการเลี้ยงปลาอย่างเดียว มีปริมาณสูงกว่าระบบอื่น (ตารางที่ 2) เพราะว่ามีปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งแอมโมเนียเป็นตัวตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรท โดยไนโตรเจนเป็นตัวกลางของกระบวนการ Nitrification (Timmons and Losordol, 1994) ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนในน้ำจึงมีปริมาณสูงเช่นกัน

ปริมาณไนเตรทในทุกระบบการเลี้ยงมีแนวโน้มของการสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 และหลังจากนั้นปริมาณเริ่มลดลง ยกเว้นในระบบการเลี้ยงปลาอย่างเดียว ที่ยังมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 2I) ในขบวนการ Nitrification การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทเกิดจากการใช้ไนเตรทโดยพืชน้ำ หรือการเติมน้ำเข้าไปใหม่ โดยปกติไนเตรทจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นในกรณีที่มีความเข้มข้นสูงมาก (ยงยุทธ และคณะ, 2532) เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและไนโตรเจน แต่เมื่อเกิดการสะสมของไนเตรทถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อปลาหรือสัตว์น้ำอื่นๆ ได้ (Quillert *et al.*, 1993)

ปริมาณฟอสฟอรัสในทุกระบบการเลี้ยงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงสัปดาห์ที่ 2 และมีปริมาณค่อนข้างคงที่จนถึงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 2I) ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และการสร้างไซโตพลาสซึม (สุชาติ และคณะ, 2534) โดยอนินทรีย์ฟอสเฟตเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด ซึ่งน้ำต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.3-6.9 ถ้าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่านี้ฟอสเฟตจะลดลง โดยฟอสเฟตจะ

ตกตะกอนกับแคลเซียมในรูปแคลเซียมฟอสเฟต (Boyd, 1989) ซึ่งจากการทดลองพบว่าทุกระบบการเลี้ยงมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง อยู่ในช่วง 6.9-8.1 ทำให้มีการสะสมฟอสเฟตอยู่ในระบบในปริมาณน้อย

อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำในระบบที่เลี้ยงปลาเพียงอย่างเดียวมีค่าของคุณภาพน้ำต่างๆ อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ถ้าหากดำเนินการเลี้ยงที่ใช้ระยะเวลาที่นานกว่านี้ อาจทำให้มีการสะสมของเสียเพิ่มมากขึ้น ถึงระดับหนึ่งจนเป็นพิษต่อปลาได้ เนื่องจากเป็นระบบปิด แต่ถ้าใช้ระบบการเลี้ยงที่มีพรรณไม้น้ำร่วมด้วย พรรณไม้น้ำจะสามารถช่วยในการดูดซับ หรือบำบัดสารอนินทรีย์ที่มีมากเกินไปในระบบได้

3. การเจริญเติบโตของปลาและพรรณไม้น้ำ

จากการทดลองเลี้ยงปลาคะเพียนทองร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำกลุ่มใต้น้ำ พบว่าปลาคะเพียนทองที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายหางกระรอก มีการเจริญเติบโตดีที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับระบบอื่นๆ โดยมีน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 4.49 ± 0.29 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 2.71 ± 0.27 กรัมต่อตัว และมีอัตราการรอดถึงร้อยละ 98.33 ± 0.88 ส่วนความยาวเฉลี่ยของปลาคะเพียนทองในทุกระบบการเลี้ยงไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rakocy and Allison (1981) ที่เลี้ยงปลานิลร่วมกับสาหร่ายเดนซ่าและต้นเทปมีอัตราการรอดถึง 97.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของงนงูช และคณะ (2545) ที่เลี้ยงปลาทองร่วมกับใบพายศรีลังกา ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งอัตราการรอดสูงมากคือ 99 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองของวรางคณา (2545) ที่เลี้ยงปลาทองร่วมกับใบพายศรีลังกาและอมซอนใบยาว ที่มีอัตราการรอดถึงร้อยละ 98.66 เช่นกัน

ส่วนพรรณไม้น้ำใต้น้ำได้แก่ ต้นเทป, สาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพวงชะโด ในระบบการเลี้ยงต่างๆ พบว่าผลผลิตเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 235.32 ± 3.79 , 278.81 ± 4.72 และ 258.81 ± 2.78 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพ (%) การบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบการเลี้ยงต่างๆ

คุณภาพน้ำ	ระบบการเลี้ยง			
	ปลา	ปลา-เทป	ปลา-หางกระรอก	ปลา-พวงชะโด
แอมโมเนีย	6.25 ± 0.78^a	23.85 ± 1.22^b	32.24 ± 1.35^c	19.86 ± 1.03^d
ไนโตรที่	4.32 ± 0.88^a	14.95 ± 0.84^b	17.54 ± 4.15^b	12.85 ± 3.92^{ab}
ไนเตรท	6.83 ± 2.01^a	22.53 ± 0.76^b	35.59 ± 1.46^c	14.23 ± 2.46^d
ฟอสฟอรัส	6.84 ± 1.00^a	16.68 ± 0.84^b	20.49 ± 2.32^b	14.94 ± 2.40^b

* อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาอย่างเดียว ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับต้นเทป ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายหางกระรอก และ ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับสาหร่ายพวงชะโด

คุณภาพน้ำ	ระบบการเลี้ยง			
	ปลา	ปลา-เทป	ปลา-หางกระรอก	ปลา-พวงชะโด
อุณหภูมิ (°C)	31.5±0.03 ^a	30.5±0.06 ^b	30.4±0.02 ^c	30.4±0.03 ^c
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	6.12±0.39 ^a	6.49±0.43 ^a	6.78±0.43 ^a	6.30±0.42 ^a
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.95±0.00 ^a	0.70±0.02 ^b	0.73±0.02 ^b	0.71±0.01 ^b
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.2±0.01 ^a	7.4±0.03 ^b	7.3±0.01 ^c	7.4±0.04 ^c
ความเป็นด่าง	68±1.7 ^a	63±0.9 ^b	64±0.4 ^c	63±1.3 ^c
ความกระด้าง	141±2.6 ^b	138±2.2 ^b	140±3.7 ^b	135±2.5 ^b
แอมโมเนีย (mg/l)	0.61±0.01 ^a	0.42±0.04 ^b	0.41±0.05 ^b	0.45±0.03 ^b
ไนโตรเจน (mg/l)	0.029±0.000 ^a	0.021±0.001 ^b	0.017±0.001 ^c	0.018±0.001 ^{bc}
ไนเตรท (mg/l)	6.56±0.23 ^a	6.00±0.46 ^a	5.98±0.75 ^a	6.28±0.30 ^a
ฟอสฟอรัส (mg/l)	1.07±0.02 ^{ab}	1.20±0.07 ^b	1.11±0.08 ^{ab}	1.01±0.05 ^a

* อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาตะเพียนทอง

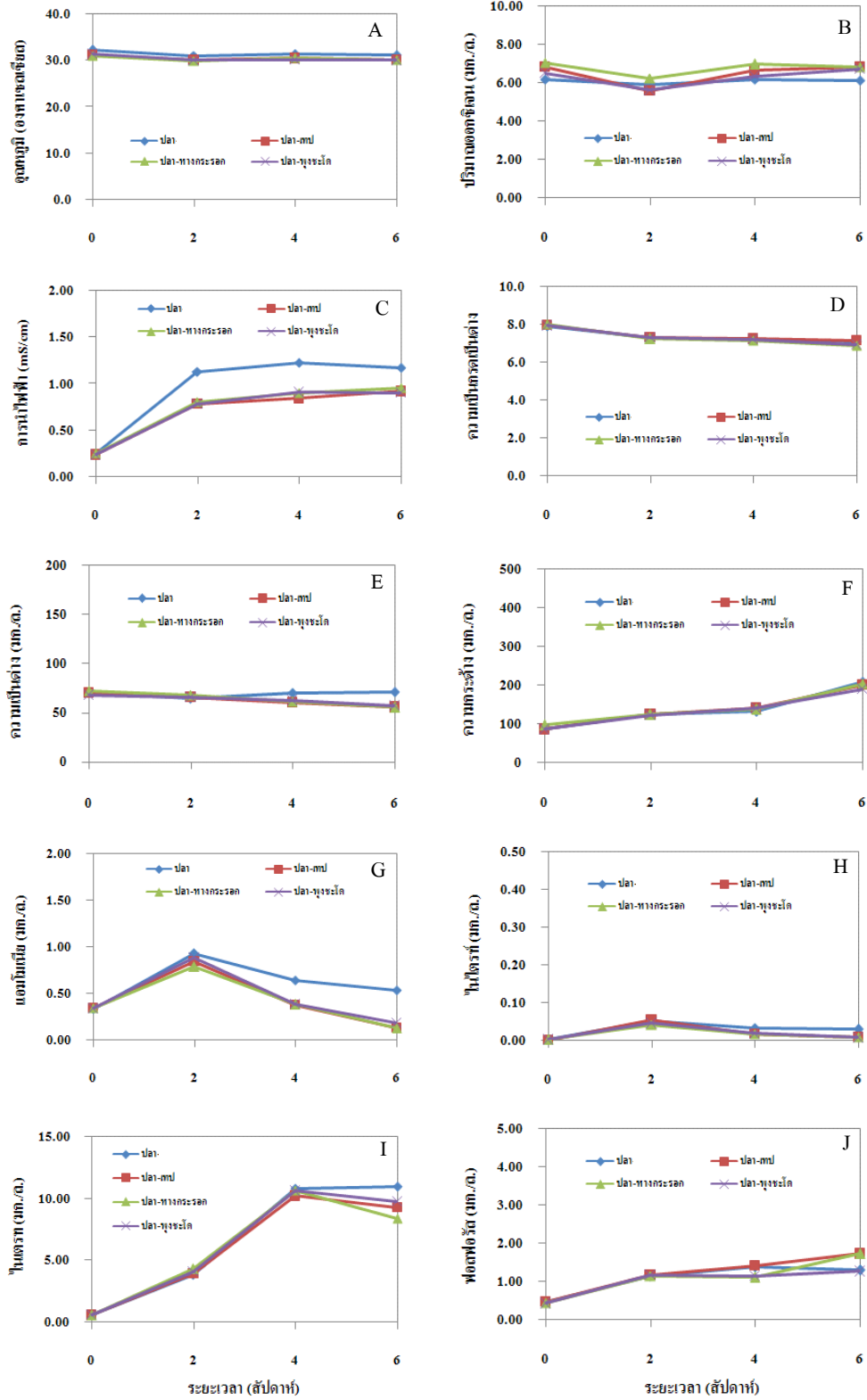
	ระบบการเลี้ยง			
	ปลา	ปลา-เทป	ปลา-หางกระรอก	ปลา-พวงชะโด
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ตัว)	2.31±0.04 ^a	2.21±0.10 ^a	2.26±0.04 ^a	2.24±0.05 ^a
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม/ตัว)	3.36±0.23 ^{ab}	3.99±0.22 ^b	4.49±0.29 ^c	3.14±0.14 ^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	1.05±0.21 ^{ab}	1.78±0.30 ^b	2.71±0.27 ^c	0.90±0.18 ^a
ความยาวเริ่มต้น (ซม.)	5.72±0.09 ^a	5.69±0.07 ^a	5.70±0.02 ^a	5.62±0.07 ^a
ความยาวสิ้นสุด (ซม.)	6.54±0.25 ^a	6.58±0.12 ^a	6.79±0.26 ^a	6.48±0.33 ^a
ความยาวที่เพิ่มขึ้น (ซม.)	0.82±0.19 ^a	0.89±0.05 ^a	1.08±0.27 ^a	0.86±0.26 ^a
อัตราการรอด (%)	82.00±1.15 ^a	94.67±0.67 ^c	98.33±0.88 ^d	90.67±0.67 ^b

* อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4 น้ำหนักของพรรณไม้น้ำในระบบต่างๆ

	ระบบการเลี้ยง		
	ปลา-เทป	ปลา-หางกระรอก	ปลา-พวงชะโด
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม/ระบบ)	121.08±0.88 ^a	121.73±1.98 ^a	121.78±1.79 ^a
น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม/ระบบ)	235.32±3.79 ^a	278.81±4.72 ^c	258.81±2.78 ^b
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ระบบ)	114.23±3.27 ^a	157.08±4.52 ^c	137.03±1.172 ^b

* อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการใช้พรรณไม้ได้น้ำเพื่อบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาของระบบการบำบัดน้ำ พบว่าพรรณไม้ที่ทดลองทั้ง 3 ชนิด สามารถลดปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดจากการเลี้ยงปลาได้ โดยระบบการเลี้ยงปลาตะเพียนทองร่วมกับสาหร่ายหางกระรอก มีประสิทธิภาพการบำบัดได้มากที่สุด สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนในเตรท และฟอสฟอรัสได้ 32.24, 17.54, 35.59 และ 20.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปลาตะเพียนทองมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ± 0.27 กรัมต่อตัว และพรรณไม้ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดคือ 157.08 \pm 4.52 กรัมต่อระบบ

เอกสารอ้างอิง

- กองประมงน้ำจืด. 2538. พรรณไม้ในประเศไทย. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 154 หน้า.
- ชวลิต วิทยานนท์. 2547. คู่มือปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สารคดี. 232 หน้า.
- นงนุช เลหาะวิสุทธิ. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ในบ่อไร้ดิน. วารสารเคหะการเกษตร. 25(7):205-215.
- นงนุช เลหาะวิสุทธิ, มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2545. การเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการผลิตพรรณไม้ในบ่อไร้ดินในระบบปิด. การประชุมวิชาการด้านเกษตร ทรัพยากร และสิ่งแวดล้อม งานเกษตรภาคใต้ ครั้งที่ 10 วันที่ 10-11 สิงหาคม, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. สงขลา. หน้า 129-137.
- ขยยุทธ ปริดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เฟิงมาก, พุทธ ต่อแสงจินดา, สุภโชค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา. เอกสารฉบับที่ 10/2532. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา.
- ศรปราชญ์ ธนสวรรค์ราชภัฏ, พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และทรงคุณ สิงหราชวัลลภ. 2543. การสังเคราะห์แสงและการส่งลำเลียงก๊าซออกซิเจนในประชากรรูปร่าง. การสัมมนาวิชาการ รายงานการศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์การกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วันที่ 24-25 ส.ค. กรุงเทพฯ. หน้า 1-14.
- สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. พรรณไม้ในบ่อ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 233 หน้า.
- สุชาติ อิงธรรมจิตร, โสภกา อารีรัตน์, ไพโรพรรณ เทียนทอง และเสาวคนธ์ วัลลีย์. 2534. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำแปลงกักต่อน้ำและแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลา. รายงานสัมมนาวิชาการประจำปี 2534. กรมประมง. หน้า 203-254.
- Bailey, M. and G. Sandford. 2002. Aquarium fish : a definitive guide to identifying and keeping freshwater and marine fishes. Lorenz books. London. 256 p.
- Borges, M. T., A. Morais and P. M. L. Castro. 2003. Performance of outdoor seawater treatment systems for recirculation in an intensive turbot (*Scophthalmus maximus*) farm. Aquaculture International. 11:557-570.
- Boyd, C. E. 1989. Water quality management and American in shrimp farming. Alabama : Auburn University.
- DeBusk, R. M., D. T. Brown, A. G. DeBusk, and R. D. Penderghst. 1981. Alternate mechanism for amino acid entry into *Neurospora crassa*: extracelular deamination and subsequent keto acid transport. Bacteriol. 146:163-169.
- Neori, A. and M. Shpige. 1999. Using algae to treat effluents and feed in sustainable mariculture. World Aquaculture 30(2):46-51.

- Quillert, I., D. Marie, L. Roux, F. Gosse and J. F. Morot-Gaudry. 1993. An artificial productive ecosystem based on a Fish/Bacterial/Plant Association. 1 design and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 47(1):13-30.
- Rakocy, J. E. and R. Allison, 1981. Evaluation of a close recirculating system for tilapia culture and aquatic macrophytes. *American Fisheries Society*. 1:296-307.
- Reddy, K. R. 1987. Nitrogen fixation by azolla cultured in nutrient-enriched waters. *Aquatic Plant Management*. 25:43-48.
- Seawright, D. E., R. R. Stickney and R.B. Walker. 1998. Nutrient dynamic in integrated aquaculture-hydroponics system. *Aquaculture*. 160:215-237.
- Stodola, J. 1987. *Aquarium plants*. T.F.H. Publication, Inc. U.S.A. 128 pp.
- Timmons, M. B. and T. M. Losordol. 1994. Aquaculture water reuse system : engineering design and management. *Development in Aquaculture and Fisheries Science*. 27:102-113.
- Watten, B. J. and R. L. Busch. 1984. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aorea*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system. *Aquaculture*. 41:271-283.