

ผลของพื้นที่ผิวของตัวกรองชีวภาพที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

Effect of surface area of biological filter on ammonia removal efficiency

เบญจมาศ จันทะภา ไพบูลย์กิจกุล^{1*}, สุทธิพันธ์ รอดทอง¹, ชลี ไพบูลย์กิจกุล¹
และ เอกชัย มาลาพล²

Benjamas Chantapa Paibulkichakul^{1*}, Suthipan Rodthong¹, Chalee Paibulkichakul¹
and Ekachai Malaphol²

บทคัดย่อ: การศึกษาพื้นที่ผิวของตัวกรองชีวภาพต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ หญ้าเทียมที่ใช้ตกแต่งตู้เลี้ยงปลา 3 ชนิดที่มีพื้นที่ผิวต่างกันเท่ากับ 0.56 0.44 และ 0.79 ตารางเมตรนำตัวกรองชีวภาพทั้ง 3 ชนิด แช่ในน้ำที่มีไนโตรเจนที่มาจากแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากับ 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร แช่เป็นระยะเวลาประมาณ 30 วัน หลังจากนั้นจะนำตัวกรองชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มาทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในน้ำที่มีความเข้มข้นที่มีไนโตรเจนเท่ากัน คือ 2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรผลการศึกษพบว่าพื้นที่ผิวของตัวกรองชีวภาพ (หญ้าเทียม) ทั้ง 3 ชุดการทดลองให้ผลการกำจัดแอมโมเนียแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$). หญ้าเทียมสามารถช่วยในการกำจัดแอมโมเนียได้ โดยหญ้าเทียมที่มีพื้นที่ผิวมากมีประสิทธิภาพทำให้แอมโมเนียลดลงได้มากกว่าหญ้าเทียมที่มีพื้นที่ผิวน้อย เท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: พื้นที่ผิว, การกำจัดแอมโมเนีย, ประสิทธิภาพ, ตัวกรองชีวภาพ, หญ้าเทียม

ABSTRACT: To evaluate the effect of surface area of biological filter on ammonia removal. Artificial grass that usually used to decorate aquarium were selected as biological filter. Three different surface areas of artificial grass were 0.56, 0.44 and 0.79 m². All of biological filter had been submerged in 10 mg-N/l ammonium chloride solution for 30 days before testing of efficiency of ammonia removal. After that, the submerged biological filters had been immersed in 2mg-N/l ammonia chloride solution for test of efficiency of ammonia removal. The results demonstrated that the surface area of the biological filter (artificial grass) had ammonia removal statistically different ($P < 0.05$). Artificial grass could remove ammonia in aquarium. The greatest surface area of artificial grass had higher removal efficiency (46 percent) than those of lower surface area.

Keywords: surface area, ammonia removal, efficiency, biological filter, artificial grass

¹ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi Campus

² ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Center of Excellence for Marine Biotechnology, Faculty of Science Chulalongkorn University

* Correspondent author:benjamas@buu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอาชีพที่มีรายได้ดี การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนมากเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นสูง (high density) ถึงสูงมาก (super density) เนื่องจากพื้นที่มีจำนวนจำกัด ซึ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ความหนาแน่นสูงมักเกิดปัญหาในเรื่องของคุณภาพน้ำโดยสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรทและไนเตรท (Hargeaves, 1998) แอมโมเนียเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งส่วนใหญ่ได้จากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ รวมถึงได้จากอาหารสัตว์น้ำ การเน่าเปื่อยของซากสารอินทรีย์ และการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ เป็นสาเหตุสำคัญของการสะสมแอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เป็นต้น

การบำบัดน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สิ่งมีชีวิตช่วยกำจัดของเสียในน้ำ โดยเฉพาะสารประกอบคาร์บอน สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบฟอสฟอรัสซึ่งจะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียในระบบเพื่อการเจริญเติบโตเป็นผลทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลงได้ เนื่องจากว่าในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไปจะพบแบคทีเรียประจำถิ่นซึ่งจะมีบทบาทในการย่อยเศษอาหารเหล่านั้นเป็นแอมโมเนีย (NH_3) เรียกกระบวนการนี้ว่า Ammonification จากนั้นจะถูกแบคทีเรียพวก Nitrifying bacteria เปลี่ยนจากแอมโมเนียให้เป็นไนโตรท และจากไนโตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทด้วยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. ตามลำดับ ด้วยกระบวนการ Nitrification ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้สามารถอยู่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน (aerobic organisms) อย่างเพียงพอ

Tchobanoglous et al. (2004) จำแนกแบคทีเรียตามการกระจายตัวของแบคทีเรียในระบบได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) แบคทีเรียที่เจริญเติบโตโดยการยึดเกาะอยู่

บนพื้นผิวของตัวกลาง (attach-growth bacteria) และ 2) แบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้อย่างอิสระในน้ำโดยไม่มีการยึดเกาะกับตัวกลาง (suspended - growth bacteria) ในปัจจุบันได้มีการออกแบบให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะกับตัวกรองชีวภาพ (biofilter) ซึ่งอาจเคลื่อนที่ได้หรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างของวัสดุตัวกรองชีวภาพ อาทิ เช่น หิน ทყาย หรือ พลาสติก เช่น พีวีซี Polyethylene หรือ Polypropylene คุณสมบัติ 2 ประการที่สำคัญของตัวกรองชีวภาพได้แก่ 1) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำและมีความคงทน และ 2) มีพื้นที่ผิวเพียงพอเพื่อให้ nitrifying bacteria มายึดเกาะและเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งทำให้สามารถแก้ไขปัญหเกี่ยวกับอัตราการเจริญเติบโตที่จำกัดของแบคทีเรียได้ (Nicolella et al., 2000) ในปัจจุบันมีวัสดุตัวกรองชีวภาพที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีชื่อการค้า เช่น Biopolyma™, Bioball™ และ HyperDrain™ เป็นต้น

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีแนวคิดที่นำตัวกรองชีวภาพในรูปแบบต่างๆ มาใช้ในการบำบัดน้ำและพบว่าทำให้การบำบัดน้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Menasveta et al., 2001; Paibulkichakulet al., 2007; Xue et al., 2010; Almstrand et al., 2011) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีวัสดุ และอุปกรณ์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้เลือกใช้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเอื้อประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การบำบัดน้ำ เป็นต้น ในการกำจัดแอมโมเนียให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นต้องมีสภาวะที่เหมาะสมหลายประการดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ ผลของพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันของตัวกรองชีวภาพ (หญ้าเทียม) ที่มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนีย ผลการศึกษาวิจัยที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการกำจัดแอมโมเนีย และใช้กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

วิธีการศึกษา

ตัวกรองชีวภาพ

ตัวกรองชีวภาพที่เลือกมาทำการวิจัยนี้เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาไม่แพง อีกทั้งยังสามารถใช้

ประโยชน์โดยการนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ตกแต่งเพื่อความสวยงามในตู้เลี้ยงปลาโดยตัวกรอง 3 ชนิดนี้เป็นหญ้าเทียมที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน Figure 1

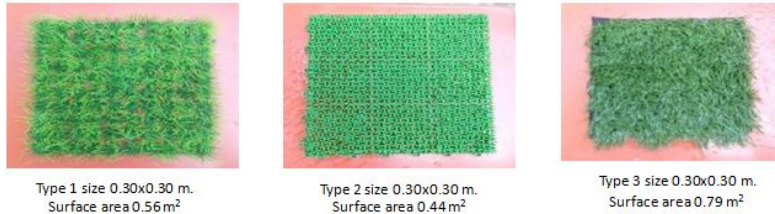


Figure 1 Three types of biological filter (artificial grass).

การแช่ตัวกรองชีวภาพ

นำวัสดุตัวกรองชีวภาพทั้ง 3 ชนิด (ชนิดละ 3 แผ่น) มาบ่มในถังน้ำทะเลความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน (พีพีที) ปริมาตร 200 ลิตร โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรเติมอาหารกุ้งที่มีโปรตีน 38% ปริมาณ 6.5 กรัม ในถังของวันแรกในการทดลองเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนเสริมสำหรับในตู้ฟุ้งุ้งแบคทีเรีย และปรับค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ให้มีค่าเท่ากับ 150 มิลลิกรัมคาร์บอเนตต่อลิตรด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 16.5 กรัม ในแต่ละถังของวันแรกในการทดลองแช่เป็นระยะเวลาประมาณ 30 วัน และให้อากาศผ่านหัวทรายตลอดเวลา ในระหว่างนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก 2 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ที่คงเหลือในระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพตัวกรองชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน

หลังจากแช่ตัวกรองชีวภาพเป็นระยะเวลาประมาณ 30 วันแล้วให้นำตัวกรองชีวภาพทั้ง 3 ชนิด (ชนิดละ 3 แผ่น) ออกมาล้างด้วยน้ำที่มีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน จากนั้นนำมาทำการทดสอบ

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในตู้กระจกขนาด $19 \times 19 \times 35$ เซนติเมตร จำนวน 9 ตู้ ที่บรรจุน้ำความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ปริมาตรตู้ละ 12 ลิตร พร้อมปรับค่าความเป็นด่างของน้ำ (alkalinity) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยชุดตรวจสอบน้ำอย่างง่าย (test kit) แล้วจากนั้นทำการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เพื่อให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรระหว่างทดลองมีการให้อากาศผ่านหัวทรายตลอดเวลาทำการเก็บตัวอย่างวันละ 3 ครั้ง ทุกวันเป็นระยะเวลา 38 วัน ตัวอย่างครั้งละ 15 มิลลิตร นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย โดยวิธีวิเคราะห์ Modified indophenol blue method (Parsons et al., 1984) แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์การลดลงของแอมโมเนียต่อช่วงเวลา

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียได้ของตัวกรองชีวภาพ โดยเปรียบเทียบตัวกรองชีวภาพอื่นกับตัวกรองชีวภาพรูปแบบที่ 1 ดังสูตร

$$\text{Percentage of removal (\%)} = \frac{(\text{ปริมาณแอมโมเนียตั้งต้น} - \text{ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือ}) * 100}{(\text{ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือของ Type I})}$$

$$\text{Efficiency of ammonia removal (\%)} = \text{Percentage of removal} - \text{Percentage of removal of Type I}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียที่กำจัดได้โดยวิธีทดสอบความแปรปรวน (Analysis of Variance) และ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิจัยในครั้งนี้ได้นำตัวกรองชีวภาพ (หญ้าเทียม) ที่มีพื้นที่ผิวต่างกันมาแช่ในแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพื่อให้เป็นอาหารแก่แบคทีเรียซึ่งเมื่อมีมากเพียงพอแล้วจะนำตัวกรองชีวภาพดังกล่าวมาทดสอบ

ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียโดยเติมความเข้มข้นแอมโมเนียเริ่มแรกเท่ากันคือ 2 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ผิวของตัวกรองชีวภาพ(หญ้าเทียม) ทั้ง 3 ชุดการทดลองให้ผลการกำจัดแอมโมเนียแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยหญ้าเทียมชนิดที่ 1 ไม่แตกต่างจากหญ้าเทียมชนิดที่ 2 ในขณะที่หญ้าเทียมชนิดที่ 3 แตกต่างจากหญ้าเทียมชนิดที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญจากผลการศึกษาครั้งนี้มีแนวโน้มพบว่า ตัวกรองชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวมากมีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียได้มากกว่า

Table 1

Table 1 Efficiency of difference surface area of biological filter for ammonia removal.

Ammonia concentration	Type of biofilter (surface area; m ²)		
	Type 1 (0.55 m ²)	Type 2 (0.44 m ²)	Type 3 (0.79 m ²)
Residue amount (mean \pm SD; mg-N/L) ^{1/}	1.43 ^a \pm 0.68	1.44 ^a \pm 0.78	1.39 ^b \pm 0.87
Percentage of removal (%)	100	99	146
Efficiency of ammonia removal (%)	0	-1	46

^{1/}The same superscript letters in the same row are not significantly different at the 95% confidence level.

ที่ผ่านมา มีผลการวิจัยที่ยืนยันว่าหากต้องการเพิ่มจำนวนประชากรกลุ่มไนโตรไฟอิงแบคทีเรียที่สามารถทำได้ด้วยการจัดสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Paibulkichakulet al., 2007; Xue et al., 2010 and Almstrand et al., 2011) ดังเช่น การเติมธาตุอาหารทั้งชนิดและปริมาณที่เหมาะสมลงในน้ำที่ต้องการบ่ม อีกทั้งจากการศึกษาของ Sharma and Ahlert (1977) รายงานว่าการบ่มตัวกรองโดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนลงไปในน้ำจะช่วยให้กระตุ้นให้แบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic bacteria) มีการเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิงแบคทีเรียก็จัดอยู่ในกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกด้วยเช่นกันจึงสามารถใช้วิธีการนี้ได้ ธาตุอาหารที่เติมลงไปจะช่วยให้เพียงพอต่อความต้องการ

สารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตจึงมีการแย่งแย่งสารอาหารน้อยลง ประกอบกับมีออกซิเจนที่เพียงพอ พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เป็นการช่วยให้เกิดกระบวนการสร้างฟิล์ม (biofilm) ซึ่งจะช่วยให้การบำบัดน้ำได้ดียิ่งขึ้น

ระบบบำบัดแบบชีวภาพเป็นระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำระบบหนึ่งที่สามารถลดปริมาณธาตุอาหารและสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ ได้ โดยจากการศึกษาของ Skjoldstrup et al. (1998) ในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ที่ระบบบำบัดที่ประกอบด้วย การแยกตะกอน (sediment) การบำบัดด้วยแสง UV การเพิ่มออกซิเจน และการบำบัดทางชีวภาพ พบว่าสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ถึง 48% ของไนโตรเจนทั้งหมด โดยเปลี่ยนให้เป็นไนเตรท ระบบ

กรองเป็นอีกระบบหนึ่งที่น่ามาใช้ในการบำบัดน้ำในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยอาศัยแบคทีเรีย หลักการให้แบคทีเรียเกาะอยู่ตามผิววัสดุตัวกลาง ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด หรือฟิล์มแล้วมีพื้นที่พอเพียงที่ให้ออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปได้เพื่อช่วยในการย่อยสลายแปรเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ต่างๆ ให้กลายเป็นสารประกอบอื่นที่มีพิษน้อยลงด้วยกระบวนการ Nitrification นอกจากนี้มีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของวัสดุที่แตกต่างกันจะมีความสำคัญมากผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเนื่องจากหากวัสดุที่มีพื้นที่ผิวมากประกอบกับการแพร่กระจายของออกซิเจน และธาตุอาหารเป็นได้อย่างทั่วถึงซึ่งส่งผลต่อการสร้างฟิล์มของไนตริไฟอิงแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทำให้การบำบัดน้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด(Figueroa and Silverstein., 1992; Cheng and Chen, 1994; Ohashi et al., 1995)

สรุป

ในปัจจุบันเริ่มมีการนำวัสดุที่น่าจะพอมีศักยภาพมาแช่ในตู้ปลา (Aquarium) เพื่อมีวัตถุประสงค์ในการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ อาทิ เช่น Bioball และ หน้ำเทียม เป็นต้นอย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุที่จะมาประกอบเป็นตัวกรองชีวภาพนั้นควรเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน อาทิเช่น มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำ หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด สะดวกและทนทานต่อการใช้งาน เป็นต้นซึ่งจากผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การนำตัวกรองชีวภาพ (หน้ำเทียม) ที่มีพื้นที่ผิวแตกต่างกันในความเข้มข้นของแอมโมเนียเพื่อให้แบคทีเรียในน้ำเจริญเติบโต และเกาะบริเวณผิวของตัวกรองชีวภาพดังกล่าวในระยะหนึ่ง จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย พบว่า พื้นที่ผิวของตัวกรองที่มากกว่าทำให้การบำบัดแอมโมเนียในน้ำดีกว่าพื้นที่ผิวน้อยกว่า

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัยในครั้งนี้ และ ขอพระคุณ ดร. สรวิศ เผ่าทองสุข ที่ช่วยแนะนำสาระสำคัญของโครงการวิจัยนี้ ซึ่งบางส่วนได้แบ่งมาเพื่อพิมพ์เผยแพร่ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Almstrand, R., P. Lydmark, F. Sorensson, and M. Hermansson. 2011. Nitrification potential and population dynamics of nitrifying bacterial biofilms in response to controlled shifts of ammonium concentrations in wastewater trickling filters. *Bioresource Technology*. 102: 7685–7691.
- Cheng, SS., and WC. Chen. 1994. Organic carbon supplement influencing performance of biological nitrification in a fluidized bed reactor. *Water Science Technology*. 30: 131– 42.
- Figueroa, LA. And J. Silverstein. 1992. The effect of particulate organic matter on biofilm nitrification. *Water Environment Research*. 64:728-733.
- Hargeaves, JA. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture pond. *Aquaculture*. 166: 18 -212.
- Menasveta, P., T. Panritdam, P. Sihanonth, S. Powtongsook, B. Chuntapa, and P. Lee. 2001. Design and function of a closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. *Aquacultural Engineering*. 25: 35–49.
- Nicolella, C., van MCM. Loosdrecht, and JJ. Heijnen. 2000. Particle-based biofilm reactor technology. *Trends in Biotechnology*. 18: 312-320.
- Ohashi, A., de Silva V. Mobarry, DJ. Manem, B, and JA. Stahl. 1995. Influence of substrate C/N ratio on the structure of multispecies biofilms consisting of nitrifiers and heterotrophs. *Water Science Technology*. 32: 75-84.
- Paibulkichakul, B., S. Somjaipong, and C. Paibulkichakul. 2007. Comparison between efficiency and time of incubated biofilter for water improvement in aquaculture. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 35(2): 227-234.

- Parsons TR., Y. Maita, and CM. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Great Britain.
- Sharma, B. and RC.Ahlert .1997.Nitrification and nitrogen removal.Water Research. 11: 897-925.
- Skjolstrup, J., PH. Nielsen, JO. Frier, and E. Mclean. 1998. Performance characteristics of fluidized bed biofilters in a novel laboratory-scale recirculation system for rainbow trout: nitrification rates, oxygen consumption and sludge collection. Aquacultural Engineering. 18: 265-276.
- Tchobanoglous, G., FL. Burton, and HD. Stensel. 2004. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGrawHill, New York, USA.
- Xue, N., Q. Wang, C. Wu, L. Zhang, and W. Xie. 2010. Enhanced removal of NH_3 during composting by a biotrickling filter inoculated with nitrifying bacteria. Biochemical Engineering Journal. 51: 86–93.