ผลของตะกอนชีวภาพภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนระบบปิด ต่อการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน

The Effects of Biological Flocculation from Recirculating Aquaculture System on Controlling the Inorganic Nitrogen Concentrations

เอกนรินทร์ ธนะกิจไพรินท์[1*] กษิดิศ หนูทอง[2] และ วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี[3]

Aeknarin Thanakitpairin[1*], Kasidit Noothong[2] and Wiboonluk Pungrasmi[3]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3]ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1]Department of Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

[2]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

[3]Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Received : 6 April 2016

Accepted : 9 September 2016

Published online : 19 September 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงบทบาทความสามารถของตะกอนชีวภาพ ที่เกิดขึ้นภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดต่อการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของแอมโมเนีย และความเข้มข้นของไนไทรต์ ซึ่งการทดลองนี้ทำการเลี้ยงปลานิลที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้น 3.0 กก./ลบ.ม. โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและแยกตะกอนแขวนลอยออกจากบ่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่าการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพให้อยู่ในช่วง 200 ถึง 800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของเสียไนโตรเจนในช่วง 2.9 ถึง 9.6 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน สามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์ในน้ำให้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียจากตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลานิลเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา โดยมีค่าเท่ากับ 0.023 ± 0.001 มก.ไนโตรเจน/มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน ในวันที่ 30 ซึ่งมากกว่าค่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วงก่อนวันที่ 30 และหลังจากวันที่ 45 อย่างชัดเจน นั่นคือเป็นการนำองค์ความรู้ตะกอนชีวภาพสู่การประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนได้อีกแนวทางหนึ่ง

คำสำคัญ : ตะกอนชีวภาพ การบำบัดสารประกอบไนโตรเจน การเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนระบบปิด ปลานิล ไนทริฟิเคชัน

***Corresponding author. E-mail** : thanakitpairin_a@hotmail.com

Abstract

This research involved the study of the role biological flocculation formed in the Recirculating aquaculture system in treating of ammonium and nitrite. Tilapia cultivation was conducted for 60 days without water exchange and solids removal given the initial tilapia weight density of 3.0 kg/m^3. Maintenance of suspended solids concentrations between 200 and 800 mg SS/L, which was equivalent to nitrogen waste loadings ranged from 2.9 to 9.6 mg N/mg-day, was capable of maintaining ammonium and nitrite concentrations below 1.0 mg N/L. In addition, ammonium removal rates of bioflocs from cultivating tanks varied time with the rate on Day 30 determined at 0.023 ± 0.001 mg N/mg-day, a higher value than the rates observed before Day 30 and after Day 45. Thus the bioflocs had a potential for nitrogen treatment application in aquaculture system.

Keywords : biological flocculation, nitrogen compound removal, recirculating aquaculture system, tilapia, nitrification

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์น้ำของเกษตรกรในประเทศไทยจากอดีตจนถึงปัจจุบันนิยมเลี้ยงในบ่อดินหรือกระชัง ซึ่งให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการบริโภคที่สูงขึ้นของคนทั่วโลก โดยการเลี้ยงสัตว์น้ำในลักษณะดังกล่าวต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณสูงและมักประสบปัญหาคุณภาพน้ำไม่เหมาะสมจากการปล่อยน้ำเสียบริเวณต้นน้ำ ซึ่งนำไปสู่การติดโรค การสะสมของของเสียในระหว่างการเลี้ยงจึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์น้ำ โดยเกษตรกรมักดำเนินการแก้ไขที่ไม่เป็นไปตามหลักวิชาการด้วยการปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่ไม่ผ่านการบำบัด จึงก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำตามมา จากเหตุผลดังกล่าวการเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยจึงเริ่มปรับตัวและเปลี่ยนแนวทางการเลี้ยงจากระบบเปิดที่มีความหนาแน่นของสัตว์น้ำต่ำเข้าสู่ระบบปิดหรือกึ่งปิดที่ระดับความหนาแน่นสูง (Closed-recirculating aquaculture system) สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบนี้ภายใต้เงื่อนไขที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปอย่างเพียงพอ โดยการควบคุมลักษณะสมบัติของน้ำและคุณภาพอาหารตลอดระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง ซึ่งจากรายงานของ Azim *et al.* (2008) กล่าวไว้ว่าเป็นรูปแบบที่ส่งเสริมการประหยัดน้ำ ช่วยป้องกันการเกิดโรคระบาด รวมทั้งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยน้ำทิ้ง แต่มักประสบปัญหาการสะสมของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนรูปต่างๆ ภายในระบบ ซึ่งเกิดขึ้นจากเศษอาหารที่เหลือตกค้าง ของเสียสิ่งปฏิกูลจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ และการย่อยสลายโปรตีนจากซากสัตว์น้ำที่ตาย โดยเฉพาะแอมโมเนียและไนเทรต ซึ่งเมื่อเกิดการสะสมจะก่อให้เกิดความเป็นพิษกับสัตว์น้ำที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน (Crab *et al*., 2007)

จากข้อมูลการรายงานวิจัยของ Timmons *et al*., 2002 กล่าวไว้ว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไทรต์ ที่ระดับความเข้มข้นสูงมากกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ เช่น เกิดความเครียด ลดความสามารถของระบบภูมิคุ้มกัน หรือลดความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเม็ดเลือด เป็นต้น สำหรับเทคนิคการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้ระบบบำบัดตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งมี

รายงานว่ามีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดแอมโมเนียและไนไทรต์ (Thanakitpairin *et al*., 2015) แต่อย่างไรก็ดีระบบตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชัน-ดีไนทริฟิเคชันก็มีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นระบบที่เหมาะแก่การใช้งานในโรงเรือน และไม่สามารถนำโปรตีนในอาหารสัตว์ที่มีราคาสูงกลับมาใช้อีกครั้ง ดังนั้นประเด็นดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อความยั่งยืนของระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากอาหารเป็นค่าใช้จ่ายหลักของการเลี้ยง โดยสัตว์น้ำสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนในอาหารได้เพียงร้อยละ 25-30 เท่านั้น (Avnimelech, 2006; Crab *et al*., 2007)

ในปัจจุบันระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไบโอฟล็อกได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งและปลานิล เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนและนำกลับโปรตีนจากอาหารสัตว์น้ำได้ในเวลาเดียวกัน การบำบัดแอมโมเนียในระบบไบโอฟล็อกเกิดจากการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำโดยเติมสารอินทรีย์คาร์บอนและให้อากาศอย่างเพียงพอ ในการนี้แบคทีเรียจะเจริญอย่างรวดเร็วและตรึงแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปสร้างโปรตีนต่อไป เมื่อแบคทีเรียในน้ำเพิ่มปริมาณมากขึ้นจึงเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มตะกอนชีวภาพขนาดใหญ่เรียกว่า ตะกอนไบโอฟล็อก ซึ่งสัตว์น้ำสามารถบริโภคเป็นอาหารได้และทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านอาหาร ในทางทฤษฎีความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรต ในระบบไบโอฟล็อกควรมีค่าค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย (Ebeling *et al*., 2007) อย่างไรก็ตามจากรายงานผลการวิจัยของ Nootong *et al*. (2011) พบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันมีส่วนสำคัญในการบำบัดแอมโมเนียควบคู่กับการนำไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานระบบไบโอฟล็อกไประยะเวลาหนึ่ง

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นผลการศึกษาถึงบทบาทความสามารถในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนจากตะกอนชีวภาพที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยข้อมูลที่ได้รับจะเพิ่มความเข้าใจถึงบทบาทของตะกอนในการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบปิด รวมทั้งทราบถึงช่วงปริมาณตะกอนที่เหมาะสมที่ควรคงไว้ในระบบไบโอฟล็อกเพื่อให้ยังคงสามารถทำการบำบัดสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

- *ระบบเลี้ยงปลานิลหมุนเวียนน้ำแบบปิด*

ทำการเลี้ยงปลานิลที่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3 กก./ ลบ.ม. (ความหนาแน่นสูง) โดยปลานิลมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 9.65±0.23 กรัม ความยาวเฉลี่ย 17.41±0.32 ซม. ซึ่งเลี้ยงในถังพลาสติกกลมขนาด 86×105×78 ซม. ด้วยปริมาตรความจุน้ำ 500 ล. (ทดลอง 3 ซ้ำ) โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ในการทดลองนี้แหล่งของไนโตรเจนมาจากอาหารปลานิลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 18 ด้วยการให้อาหารแก่ปลานิลทุกวันๆ ละ 3 ครั้ง ในอัตราร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลานิลภายในถัง ซึ่งภายในถังเลี้ยงทำการเติมอากาศด้วยหัวทรายตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยทำการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ให้มากกว่า 4 มก./ล. ค่าพีเอช (pH) ในช่วง 7-8 และค่าสภาพด่างในช่วง 100 – 150 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญของปลานิลและแบคทีเรียกลุ่มไนทริไฟอิงค์ (Timmons *et al*., 2002) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากถังเลี้ยงปลานิลทุกวัน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ ไนเทรต และตะกอนแขวนลอยตามวิธีมาตรฐาน (APHA, 2005)

- *ศึกษาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพจากถังเลี้ยงปลานิล*

ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำจากถังเลี้ยงปลานิลปริมาตร 1 ล. ในวันที่ 15 30 45 และ 55 ของการทดลอง เพื่อวิเคราะห์อัตราการบำบัดแอมโมเนีย โดยบรรจุลงในขวดแก้วขนาด 1.1 ล. (ทดลอง 3 ซ้ำ) ที่หุ้มด้วยกระดาษสีดำ จากนั้นปรับความเข้มข้นของแอมโมเนียให้ได้ประมาณ 2 มก.ไนโตรเจน/ล. ด้วยการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 4.0 มก./ล. ค่าพีเอชในช่วง 7-8 และค่าสภาพด่างในช่วง 100 – 150 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งคำนวณอัตราการลดลงของแอมโมเนียด้วยสมการไคเนติกส์ของมิเคลลิส-เมนเทน (Michaelis-Menten equation) ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากถังพลาสติกทดลองขนาด 1.1 ล. เป็นระยะทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียจนกระทั่งปริมาณแอมโมเนียหมด ด้วยวิธีมาตรฐาน (APHA, 2005)

$$v_i = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]} \qquad \text{.....(1)}$$

และหาค่า K_m ได้จาก

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1} \qquad \text{.....(2)}$$

โดย v_i = อัตราเร็วเริ่มต้น (initial velocity)

v_{max} = ค่าอัตราความเร็วสูงสุด

K_m = ค่าความเข้มข้นของซับสเตรตที่ให้อัตราความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด

[S] = ความเข้มข้นซับสเตรตในเวลาต่างๆ

K_1, k_2, k_{-1} = ค่าคงที่ของอัตราเร็ว

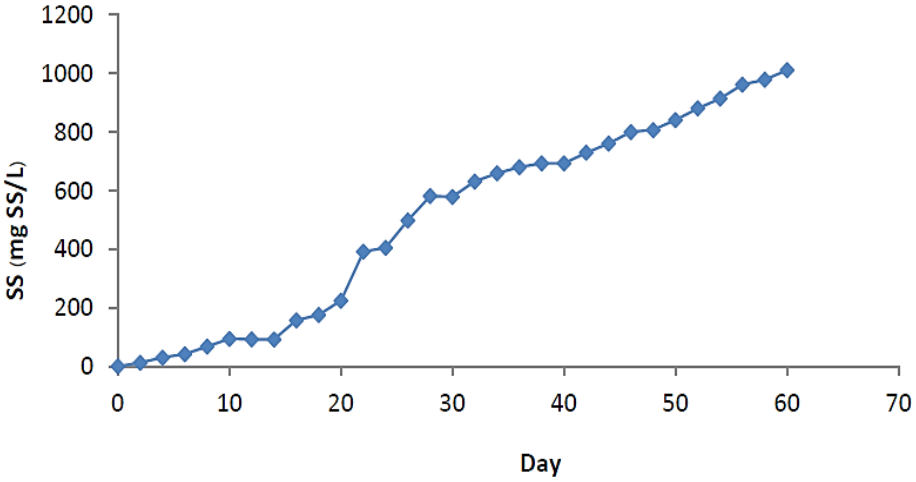
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

- *พารามิเตอร์คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงปลานิลในระบบปิด*

ผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิลดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางด้านเคมีต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และค่าสภาพด่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป (Timmons *et al*., 2002) ส่วนความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (ดังภาพที่ 1) พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยปริมาณตะกอนในวันที่ 60 มีค่าเท่ากับ 1,011 มก./ล. ซึ่งจากรายงานของ Azim and Little (2008) แนะนำให้คงปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบไบโอฟล็อกได้ไม่เกิน 500 มก./ล. เนื่องจากปริมาณตะกอนที่มากเกินไปจะอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำก่อให้เกิดผลกระทบต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของสัตว์น้ำลดลง

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงปลานิลที่ระดับความหนาแน่นสูง (3 กก./ลบ.ม.) โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	6.8 ± 0.4 (6.8 - 7.8)
ค่าพีเอช (pH)	7.65 ± 0.22 (7.03 - 8.22)
ค่าสภาพด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	120 ± 18.3 (100 - 150)
อุณหภูมิ (°C)	26.6 ± 1.61 (25 - 28.6)



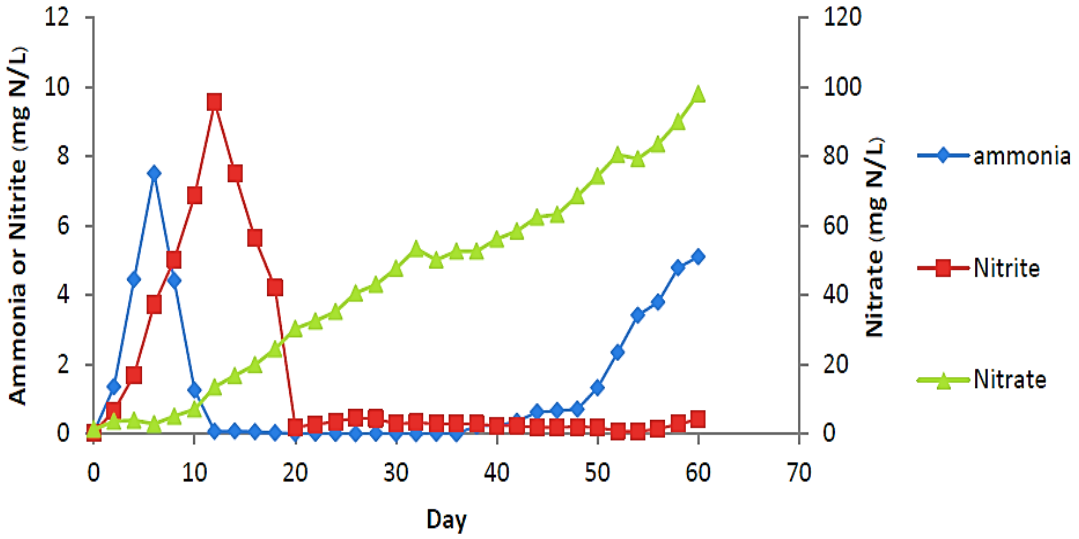
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังเลี้ยงปลานิลตลอดระยะเวลา 60 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

- *การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเลี้ยงปลานิลตลอดระยะเวลา 60 วัน*

สำหรับผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในถังเลี้ยงปลานิล แสดงดังภาพที่ 2 พบว่ามีการสะสมของแอมโมเนีย ตามด้วยไนไทรต์ และไนเทรต ในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการทดลอง โดยการสะสมของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในลักษณะนี้เป็นสิ่งที่พบได้ทั่วไปภายใต้ระบบไนทริฟิเคชัน ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของโปรตีนกลายเป็นแอมโมเนียด้วยกิจกรรมของแบคทีเรียผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน และเกิดจากอัตราการเจริญที่แตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) และ Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) (Vadivelu *et al*., 2007) ดังจะเห็นได้จากตะกอนในระบบเลี้ยงปลานิลสามารถควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไทรต์ให้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. ในระหว่างวันที่ 20 ถึง 50 ซึ่งมีปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 200 ถึง 800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. และเทียบเท่าได้กับปริมาณของเสียในรูปสารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 2.9 ถึง 9.6 มก.ไนโตรเจน/ล./วัน อย่างไรก็ตามหลังจากวันที่ 50 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในระบบอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 2) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจชี้ให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบมาจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำและจากการย่อยสลายของตะกอนมีค่ามากกว่าความสามารถของตะกอนที่จะรองรับได้ ซึ่งจากรายงานของ Nootong *et al.* (2011) ได้รายงานว่าตะกอนแขวนลอยภายใต้ระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนน้ำระบบปิดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อกระบวนการไนทริฟิเคชันในการควบคุมความเข้มข้น

สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมโมเนียและไนไทรต์ในน้ำหากสูงเกิน 1.0 มก. ไนโตรเจน/ล. อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ (Timmons *et al*., 2002)

สำหรับอัตราการรอดของปลานิลในระหว่างการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 89 โดยพบว่าการตายของปลานิลเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของการทดลองในช่วงวันที่ 1 ถึง 14 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการย้ายปลานิลจากถังเตรียมปลาลงสู่ถังที่ใช้ทำการทดลอง และอาจเกิดจากระดับความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ไม่เหมาะสม (Sesuk *et al*., 2009) ส่วนอัตราการเจริญเฉลี่ยของปลานิลในถังการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.31 กรัม/วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟล็อค ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.72 – 1.23 กรัม/วัน (Crab *et al*., 2007)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลานิล 60 วัน

- *อัตราการบำบัดความเข้มข้นแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพ*

สำหรับผลอัตราการบำบัดความเข้มข้นแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงปลานิลแบบไบโอฟล็อกที่ไม่มีการแยกตะกอนออกจากระบบแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลองนี้อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.023 มก.ไนโตรเจน/มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน ในวันที่ 30 ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียตั้งแต่วันที่ 50 ที่พบความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ระดับอันตราย (> 1.0 mg N/L) อย่างชัดเจน (Timmons *et al*., 2002) โดยข้อมูลการบำบัดแอมโมเนียนี้อาจใช้ในการสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับการควบคุมปริมาณตะกอนให้อยู่ในช่วง 200 ถึง 500 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. เพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไทรต์ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมื่อมีปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นมากระดับหนึ่งระบบอาจไม่สามารถรองรับปริมาณของเสียที่มากเกินได้จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแอมโมเนียผ่านไปเป็นไนไทรต์และไนเทรตลดลง

ตารางที่ 2 อัตราการบำบัดความเข้มข้นแอมโมเนียของตะกอนชีวภาพในถังเลี้ยงปลานิลโดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ

วันที่ทดลอง (วัน)	อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มก.ไนโตรเจน/มก.ของแข็งแขวนลอย/วัน)
15	0.013 ± 0.008
30	0.023 ± 0.001
45	0.023 ± 0.001
55	0.022 ± 0.016

สรุปผลการวิจัย

ตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำ (ระบบไบโอฟล็อค) สามารถช่วยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไทรต์ให้ต่ำกว่า 1.0 มก.ไนโตรเจน/ล. โดยผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันภายใต้ระบบนั้น เมื่อระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วงระหว่าง 200 ถึง 800 มก.ของแข็งแขวนลอย/ล. ซึ่งพบว่ามีอัตราการบำบัดแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.013 ถึง 0.023 มก.ไนโตรเจน/มก.ของแข็งแขวนลอย /วัน ซึ่งข้อยืนยันเกี่ยวกับความสำคัญของระบบตะกอนชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการดูดซึมสารพิษโดยตะกอนแขวนลอย และกระบวนการไนทริฟิเคชันที่ทำงานผสมผสานกัน (Nootong *et al.,* 2011) นอกจากนี้รายงานของ Thanakitpairin *et al.*, 2014 ได้รายงานเกี่ยวกับบทบาทของตะกอนแขวนลอยในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีการรักษาระดับตะกอนแขวนลอยไม่น้อยกว่า 500 มก./ล. เพื่อช่วยเป็นตัวกรองชีวภาพไนทริฟิเคชันเบื้องต้นในการบำบัดความเข้มข้นแอมโมเนียและไนไทรต์ แต่หากมีปริมาณตะกอนแขวนลอยมากกว่า 800 มก./ล. อาจไม่เหมาะสมต่อการควบคุมสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Gaona *et al.,* 2011) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยอื่นๆ ที่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการรักษาระดับปริมาณตะกอนแขวนลอยอย่างเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขอัตราสมดุลการบำบัดและปริมาณของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบไบโอฟล็อค นั่นคือการศึกษานี้จึงเป็นอีกหนึ่งข้อพิสูจน์ได้ว่าตะกอนแขวนลอยในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนน้ำระบบปิดมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมความเข้มข้นของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน อย่างไรก็ดีปัจจัยอื่นๆ เช่น สุขภาพของสัตว์น้ำ หรือความสามารถในการคงปริมาณออกซิเจนในถังเลี้ยง และคุณภาพน้ำภายในระบบก็เป็นข้อกำหนดสำคัญในการกำหนดช่วงปริมาณตะกอนในถังเลี้ยงให้เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง ศูนย์นวัตกรรมสหศาสตร์ โครงการในแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ : CU56-FW14) โครงการวิจัยต่อเนื่อง 3 ปี ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (รหัสโครงการ : FW1017A) โครงการทุนวิจัยต่อเนื่อง 7 คลัสเตอร์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รหัสโครงการ : RES560530068-FW) ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย ตลอดจนจัดซื้อเครื่องมือและครุภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทำวิจัยตลอดจนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

เอกสารอ้างอิง

American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* (21st ed.). Washington DC: American Public Health Asscociation.

Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters : The need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, *34*, 172–178.

Azim, M.E., Little, D.C., & Bron, J.E. (2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology, 99*, 3590–3599.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, *270*, 1-14.

Ebeling, J.M., Timmons, M.B., & Bisogni, J.J. (2007). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, *257,* 346–358.

Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., & Wasielesky, W.J. (2011). The effect of solids removalon water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, *12*, 54-73.

Nootong, K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011). Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a biofloc system. *Journal of The World Aquaculture Society*, *42*(3), 339 - 346.

Sesuk, T., Powtongsook, S., & Nootong, K. (2009). Inorganic nitrogen control in a novel zero - water exchanged aquaculture system integrated with airlift - submerged fibrous nitrifying biofilters. *Bioresource Technoloy*, *100*, 2088 - 2094.

Thanakitpairin, A., Powtongsook, S., & Pungrasmi, W. (2014). The Role of Suspended Solids on Water Quality in Closed Recirculating Tilapia Culture System. *Rajabhat Rambhai Barni Research Journal*, *8*(2), 93-100. (in Thai)

Thanakitpairin, A., Phinitthanaphak, P., Powtongsook, S., & Pungrasmi, W. (2015). Nitrogen Compound Removal with Combined Nitrification–Denitrification Reactor. *Burapha Science Journal*, *20*(2), 164-173. (in Thai)

Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., & Vincii, B.J.(2002) *Recirculating Aquaculture System.* 2nd edition. New York: Northeastern Regional Aquaculture Center.

Vadivelu, V.M., Keller, J., & Yuan, Z. (2007). Effect of free ammonia on the respiration and growth processes of an enriched *Nitrobacter* culture. *Water Research*, *41*(4), 826–834.