

ผลกระทบของ Nitrifier Polyester Tablet ในการเป็นอุปกรณ์เสริมของกล่องกรองน้ำ
เพื่อเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชันในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด

Effect of Nitrifier Polyester Tablet on Using as Water Filter Box Extra Equipment
for Rapid Nitrification Process in Closed-System Aquaria

พรกนก ชมดี (Pornkanok Chomdee)* อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ (Arunwon Wungkobkiat)**

บทคัดย่อ

การเร่งกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดที่มีประชากรหนาแน่นเป็นสิ่งจำเป็น ในการนี้ ได้ใช้ไบโอบอล, เม็ดโพลีเอสเทอร์ และเม็ดโพลีเอสเทอร์ที่มีเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรียตรึงอยู่บนเส้นใย (Nitrifier Polyester Tablet หรือ NPT) เป็นอุปกรณ์เสริมของกล่องกรองน้ำ ในตู้เลี้ยงปลาขนาด 35 ลิตร ที่เลี้ยงปลาสด (*Xiphophorus helleri*) ขนาดเฉลี่ย 3-4 เซนติเมตร 100 ตัว และให้อาหารเม็ดวันละ 1.5 กรัม ปรากฏว่าตู้ที่มีไบโอบอลหรือ เม็ดโพลีเอสเทอร์มีการสะสมของสารพิษในปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลให้ปลาค่อยๆ ตายจนหมดภายในสองสัปดาห์ ซึ่งมีค่าแอมโมเนียเฉลี่ย 12.8 ± 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตรในสัปดาห์แรก และมีค่าไนไตรท์เฉลี่ย 16.1 ± 4.3 มิลลิกรัมต่อลิตรใน สัปดาห์ที่สอง แต่ตู้ที่มี NPT ปลาตายเพียงตัวเดียว มีแอมโมเนียและไนไตรท์เฉลี่ย 0.15 ± 0.08 และ 0.10 ± 0.04 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ แสดงว่า NPT เป็นอุปกรณ์เสริมที่จำเป็น และเมื่อทำการทดลองต่อไป โดยใช้ NPT 40 เม็ดต่อลิตร และ 20 เม็ดต่อลิตร ปรากฏว่าเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่วันแรก และหลังจากนั้น 9 วัน ตามลำดับ ดังนั้น NPT ปริมาณ 40 เม็ดต่อลิตร จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมเพื่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ABSTRACT

To speed up the removal of ammonia and nitrite from dense closed-system aquaria is a necessary act. In this investigation, bioball or unseeded polyester tablet or Nitrifier Polyester Tablet (NPT) were put into the water filter box as extra equipment in three 35 liter tanks. 100 Swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) of average length 3-4 cm were therein cultured and fed with processed pellet 1.5 gm a day. It appears that tanks contained bioball or unseeded polyester tablet gradually became toxic which caused all fish died in 2 weeks. The average of $\text{NH}_4\text{-N}$ was 12.8 ± 2.3 mg/L on the first week and $\text{NO}_2\text{-N}$ was 16.1 ± 4.3 mg/L on the second week. But fish in tank contained NPT died only one. The average of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ were 0.15 ± 0.08 and 0.10 ± 0.04 mg/L, respectively. NPT seems to be the necessary extra equipment. Following investigation showed that NPT of 40 tablets per liter gives nearly 100 percentage nitrification since the first day, and NPT of 20 tablets per liter gives nearly 100 percentage nitrification 9 days later. Therefore the appropriate amount of NPT for rapid nitrification is 40 tablets per liter.

คำสำคัญ: ตู้เลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด กระบวนการไนตริฟิเคชัน ไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่ตรึงอยู่บนเม็ดโพลีเอสเทอร์

Key words: closed-system aquaria, nitrification, Nitrifier Polyester Tablet

* นิสิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

ในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำมีสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ และเศษอาหารเหลือประเภทโปรตีนเกิดการย่อยสลายไปเป็นกรดอะมิโนและแอมโมเนีย ตามลำดับ จากนั้นจะเกิดการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งทั้งแอมโมเนียและไนไตรท์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยทั่วไปผู้เลี้ยงแก้ปัญหาการเกิดแอมโมเนียและไนไตรท์โดยใช้เครื่องกรองน้ำแบบต่างๆ เพื่อกรองเอาเศษอาหารเหลือและสิ่งขับถ่ายออกไป หรือใช้สารเคมีบำบัด แต่ในที่สุดก็ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยๆ ก่อนที่แอมโมเนียและไนไตรท์จะมีความเข้มข้นถึงระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยทั่วไป ระดับของอิออนไนซ์แอมโมเนีย (NH_4^+) ที่สามารถยอมรับได้ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือในช่วง pH และอุณหภูมิที่ไม่ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) มีค่าเกินกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (Liao and Mayo, 1972) ส่วนไนไตรท์ไนโตรเจนต้องมีระดับต่ำกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zweig *et al.*, 1999) กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้โดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ไนตริฟายอิงแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนความเป็นพิษโดยออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ในระยะแรก และไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทในระยะที่สอง ทำให้สามารถกำจัดความเป็นพิษของทั้งแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ แต่อย่างไรก็ตามในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีประชากรหนาแน่น มีเศษอาหารเหลือและสิ่งขับถ่ายมากมาย ทำให้มีสารพิษสะสมเป็นปริมาณมาก การปล่อยให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันตามธรรมชาติต้องใช้เวลานาน ทำให้สัตว์น้ำบางชนิดไม่สามารถทนต่อความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ ดังนั้นการใส่เชื้อ (seeding) ของไนตริฟายอิงแบคทีเรียในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำตั้งแต่เริ่มการเลี้ยงสัตว์น้ำ จะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้เร็วขึ้นและลดความเป็นพิษของสารพิษดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำได้ (อรุณวรรณ และคณะ, 2548, 2549) เนื่องจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียเจริญช้า

ต้องใช้เวลานานในการเพิ่มปริมาณเซลล์ การใช้ระบบตรึงเซลล์ทำให้แบคทีเรียนี้ไม่สูญเสียออกนอกกระบวน (Wungkobkiet *et al.*, 2008) Gross *et al.* (2003) ได้ทำการตรึงและเพิ่มปริมาณเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรียบนเม็ดพลาสติก (macaroni beads) เพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลา และเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ใส่เชื้อ พบว่าบ่อที่ใส่เชื้อมีค่าแอมโมเนียเฉลี่ยน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อที่ไม่ใส่เชื้อมีแอมโมเนียสูงสุด 18 มิลลิกรัมต่อลิตร Dong *et al.* (2010) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่ตรึงบนโพลียูรีเทน (polyurethane) เปรียบเทียบกับการใช้เชื้อแขวนลอย พบว่าการใช้เชื้อที่ตรึงบนโพลียูรีเทนมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียดีกว่าการใช้เชื้อแขวนลอย Antonina *et al.* (1997) พบว่าการใช้เส้นใยโพลีเอสเตอร์เป็นวัสดุตรึงเซลล์ทำให้มีอัตราการผ่านเข้าออกของออกซิเจนในวัสดุตรึงเซลล์มาก ส่งผลให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสูง ดังนั้นเส้นใยโพลีเอสเตอร์จึงเป็นชนิดของตัวกลางที่น่าสนใจในระบบไนตริฟิเคชัน

อรุณวรรณ และคณะ (2548) ได้ทำการประดิษฐ์เม็ดโพลีเอสเตอร์ (Polyester Tablet) เพื่อใช้เป็นวัสดุตรึงเซลล์ และได้ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifier) ให้ตรึงบนเส้นใยของเม็ดโพลีเอสเตอร์ ณ ที่นี้ได้ตั้งชื่อสิ่งประดิษฐ์นี้ว่า Nitrifier Polyester Tablet (NPT) ใน NPT มีเชื้อ Nitrifier ทำงานอยู่ 2 กลุ่ม คือ Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) และ Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำโดยใช้ NPT เร่งการกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด โดยประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆ ที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้น และศึกษาผลกระทบของปริมาณ NPT ต่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ได้ใช้ปลาซอด (*Xiphophorus helleri*) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นปลาสวยงาม ราคาถูก ทนทาน สามารถปล่อยลงเลี้ยงเป็น

ฝูงได้เลี้ยงง่ายและกินอาหารได้หลากหลาย (ชมรมการเลี้ยงปลาสวยงาม, 2537)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำโดยใช้ NPT เร่งการกำจัดแอมโมเนียและไนโตรเจนในการเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด โดยประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้น

2. เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณ NPT ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำต่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

วิธีการวิจัย

1. การเตรียม Nitrifier Polyester Tablet (NPT)

การเพาะเลี้ยง Nitrifier ให้เจริญบนเส้นใยของเม็ดโพลีเอสเตอร์ ตามวิธีของอรุณวรรณ และคณะ (2548) โดยนำเชื้อ Nitrifier ซึ่งคัดแยกมาจากตะกอนจุลินทรีย์ในตู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เชื้อกลุ่มนี้เป็นเชื้อผสมของ AOB และ NOB ที่ได้ทำการทดสอบมาก่อนแล้วว่าเป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ากลุ่มที่นำมาจากแหล่งอื่นๆที่นำมาทดสอบในเวลาเดียวกัน นำเชื้อผสมดังกล่าวมาเพิ่มปริมาณและตรึงเซลล์บนเส้นใยในเม็ดโพลีเอสเตอร์ โดยเลี้ยงในอาหารเหลวแอมโมเนีย ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถัง 15 ลิตร ใส่เม็ดโพลีเอสเตอร์สี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ดังภาพที่ 1 ก. ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของถัง ใส่อาหารจนท่วมเม็ดตรึงเซลล์และให้อากาศตลอดเวลา เลี้ยงเซลล์ในระบบเปิดเสร็จ ทำการเปลี่ยนถ่ายอาหารเมื่อแอมโมเนียหมด ตรวจสอบกระบวนการไนตริฟิเคชันด้วยการตรวจแอมโมเนีย ไนโตรเจนและไนเตรท เปลี่ยนถ่ายอาหารไปเรื่อยๆ จนแอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนและไนเตรทหมดไปภายใน 1 วัน จึงเริ่มให้อาหารในระบบต่อเนื่องเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อ โดยป้อนอาหารเข้าถึงเลี้ยงเชื้อ 15 ลิตรต่อวัน ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลา 2 เดือน เม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ตรึงเชื้อ Nitrifier แสดงในภาพที่ 1 ข. พบว่าสีของเม็ดโพลีเอสเตอร์ที่มีเชื้อตรึงอยู่เห็น

เป็นสีส้มอ่อน เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีเชื้อยึดเกาะบนเส้นใย ดังภาพที่ 2 ภาพ ข., ค. และ ง. สำหรับเส้นใยของเม็ดโพลีเอสเตอร์ก่อนการตรึงเชื้อ แสดงดังภาพที่ 2 ก.



ก.

ข.

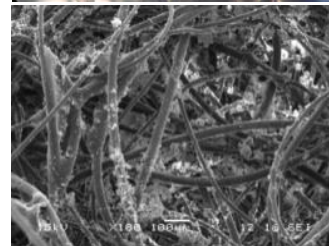
ภาพที่ 1 เม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาด 1x1x0.2 ลบ.ซม.

ก. ที่ไม่ตรึงเชื้อ

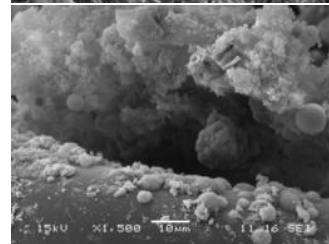
ข. ที่ตรึงไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (NPT)



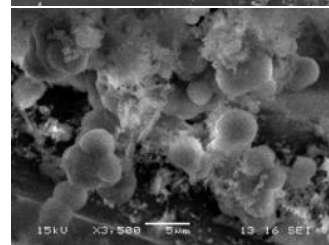
ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพที่ 2 เส้นใยสังเคราะห์ของเม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ไม่

ตรึงเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ light microscope (ก. 100 เท่า) และเส้นใยสังเคราะห์ที่มีไนตริฟายอิงแบคทีเรียตรึงอยู่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง

เกรด (ข.100 เท่า ค.1500 เท่า และ ง. 3500 เท่า)

2. การเตรียมตู้เลี้ยงปลา ใช้ตู้ปลาขนาดกว้าง ยาวและสูง 27.5, 50 และ 35 เซนติเมตร ตามลำดับ บรรจุน้ำ 35 ลิตร ภายในตู้ปลาบรรจุกล่องกรองน้ำซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไปและได้รับความนิยมนิยมมีเครื่องหมายการค้า เอส.บี. มีขนาดกว้าง ยาวและสูง 13, 13 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ติดตั้งที่มุมหนึ่งของตู้ปลา นำปลาสด ขนาดความยาวประมาณตัวละ 3-4 เซนติเมตร ใส่ลงในตู้ปลาตู้ละ 100 ตัว (2,857 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) ให้อาหารปลาวันละ 1.5 กรัมต่อตัว

3. ชุดการทดลอง การทดลองมี 2 ชุด ดังนี้

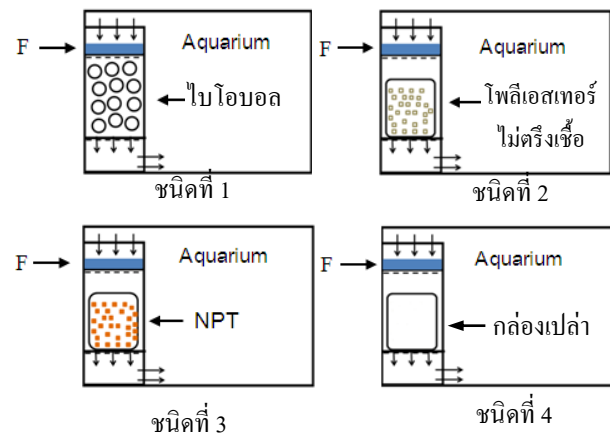
3.1 การทดลองชุดที่ 1 การประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆ ที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้น เพื่อเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

จัดตู้เลี้ยงปลาซึ่งมีความแตกต่างของอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำ 3 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 กล่องกรองน้ำที่ใส่ไบโอบอลเป็นอุปกรณ์เสริม (ภาพที่ 3, ชนิดที่ 1) "ไบโอบอล" ได้รับความนิยมนิยมใช้ในตู้เลี้ยงปลาในปัจจุบัน เป็นก้อนพลาสติกทรงกลม มีหนาม มีลักษณะดังภาพที่ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ใช้จำนวน 15 ก้อน แบบที่ 2 กล่องกรองน้ำที่ใส่โพลีเอสเทอร์ที่ไม่ตรึงเชื้อ จำนวน 40 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลา (ภาพที่ 3, ชนิดที่ 2) และแบบที่ 3 กล่องกรองน้ำที่ใส่ NPT (ซึ่งเตรียมโดยวิธีในข้อ 1.) จำนวน 40 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลา (ภาพที่ 3, ชนิดที่ 3)

3.2 การทดลองชุดที่ 2 การศึกษาผลกระทบของปริมาณ NPT ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำต่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

จัดตู้เลี้ยงปลา 3 แบบ ที่มีความแตกต่างของปริมาณ NPT ในกล่องกรองน้ำ โดยชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ใช้ NPT จำนวน 40 และ 20 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลาตามลำดับ (ภาพที่ 3, ชนิดที่ 3) และชุดที่ 3 ใช้ NPT จำนวน 0 เม็ดต่อลิตร (ภาพที่ 3, ชนิดที่ 4)

BMP4-4



ภาพที่ 3 อุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆ ในกล่องกรองน้ำในตู้เลี้ยงปลาสดระบบปิด

ชนิดที่ 1: ไบโอบอล

ชนิดที่ 2: เม็ดโพลีเอสเทอร์ที่ไม่ตรึงเชื้อ

ชนิดที่ 3: NPT

ชนิดที่ 4: ไม่บรรจุอุปกรณ์เสริมใดๆ (กล่องเปล่า)

F: แผ่นกรองน้ำ



ภาพที่ 4 ไบโอบอล

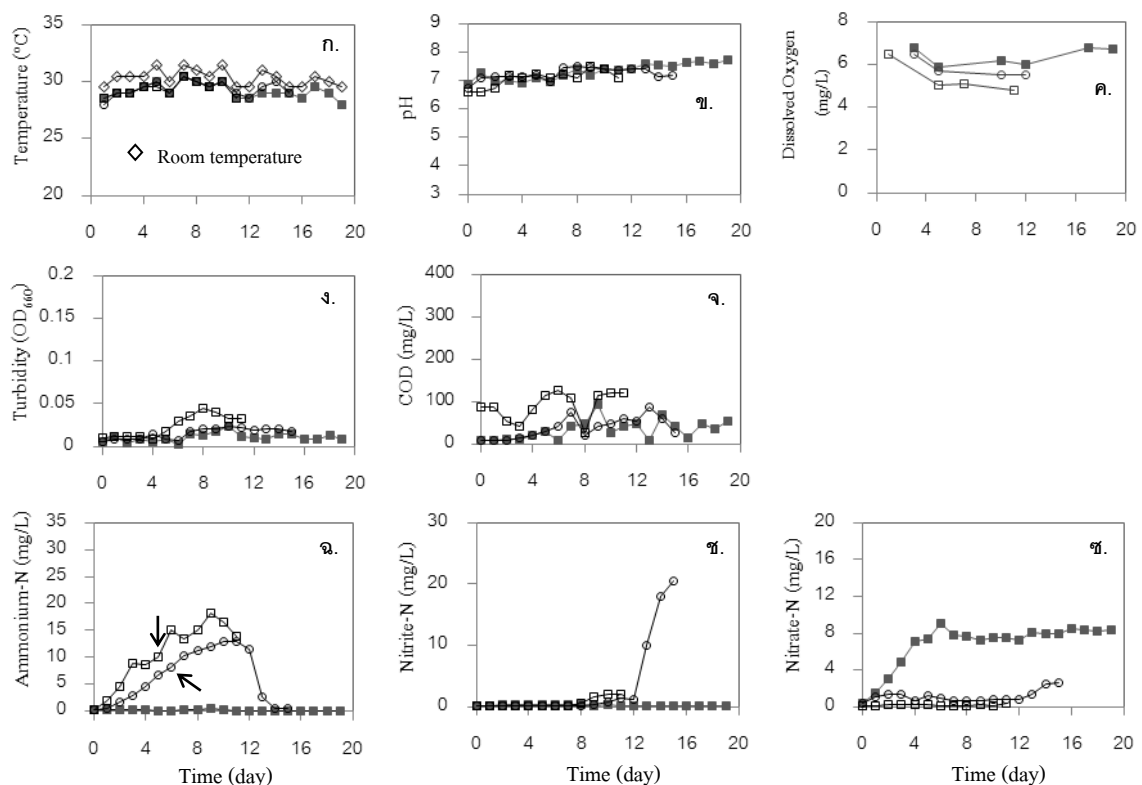
4. การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากตู้เลี้ยงปลา ก่อนให้อาหารปลา นำมาตรวจวิเคราะห์หาแอมโมเนีย ($\text{NH}_4\text{-N}$) โดยวิธี Berthelot's Reaction (Merck' Spectroquant® 14752), ไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) โดยวิธี Griess's Reaction (Merck' Spectroquant® 14776), ไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยวิธี Brucine method (APHA, 1992), ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) โดยวิธี Azide Modification of Iodometric method (APHA, 1998), ความขุ่น โดยใช้เครื่อง spectrophotometer (Shimadzu, UV-240) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร, Chemical Oxygen Demand (COD, ซีโอดี) โดยวิธี potassium dichromate reflux method (APHA, 1998)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดลองชุดที่ 1 การประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆ ที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้น เพื่อเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 5

ความเหมาะสมของคุณภาพน้ำในตู้ปลาเพื่อการเจริญเติบโตของปลาและเพื่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน: มีรายงานเกี่ยวกับคุณภาพน้ำต่างๆ ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาดังนี้ อุณหภูมิคือช่วง 20-30 องศาเซลเซียส (ชมรมการเลี้ยงปลาสวยงาม, 2537) ค่า pH คือช่วง 6.5-9.0 (ไมตรี และจรรวณ, 2528; Boyd, 1982) และออกซิเจนละลายน้ำคือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (Alabaster and Lloyd, 1980) แต่อย่างไรก็ตามออกซิเจนละลายน้ำ 1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลา

ก็สามารถเจริญได้ (Boyd, 1982) สำหรับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันนั้นค่าปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมต่อกระบวนการมีดังนี้ อุณหภูมิคือช่วง 28-36 องศาเซลเซียส (Bitton, 2005; Metcalf and Eddy, 1991; Painter, 1970) ค่า pH คือช่วง 7.5-8.6 (Chen *et al.*, 2006) และค่าออกซิเจนละลายน้ำควรสูงกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Christensen and Harremoës, 1978) ดังนั้นผลจาก ภาพที่ 5 ก.-ค. ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ pH และออกซิเจนละลายน้ำของการทดลองชุดที่ 1 นี้จึงยืนยันความเหมาะสมของคุณภาพน้ำดังกล่าวในตู้ปลาทุกตัวว่ามีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลาและเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรีย



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (ก.) พีเอช (ข.) ออกซิเจนละลายน้ำ (ค.) ความขุ่น (ง.) ซีโอดี (จ.) แอมโมเนีย (ฉ.) ไนไตรท์ (ช.) และไนเตรท (ซ.) ของน้ำในตู้ปลาระหว่างการประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เสริมชนิดต่างๆ ที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้นเพื่อเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชันในตู้เลี้ยงปลาสดระบบปิด

หมายเหตุ: ลูกศรชี้แสดงวันที่ปลาเริ่มตาย และการทดลองได้ยุติลงนั้นก็เนื่องจากปลาได้ตายหมด

○ : โบโอบอล

□ : เม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ไม่ตรึงเชื้อ

■ : NPT

ค่า COD แสดงถึงปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำ อันเนื่องมาจากสิ่งสะสมที่เกิดจากเศษอาหารเหลือ สิ่งขับถ่ายของปลา และจุลินทรีย์ภายในตู้เลี้ยงปลา (อรุณวรรณ และคณะ, 2549) จากผลความขุ่นของคุณภาพน้ำในภาพที่ 5 ง. เห็นได้ว่ากล่อกรองน้ำเป็นระบบกรองที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ความขุ่นที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่สูงเนื่องจากสารแขวนลอยถูกกรอง และการที่มีสารประกอบอินทรีย์ละลายอยู่ในน้ำน้อยทำให้ค่า COD ที่วัดได้ไม่สูงตามไปด้วย (ภาพที่ 5 จ.) การที่ค่า COD ไม่สูงทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ด้วยดี (Boongorsrang *et al.*, 1982) ดังนั้นค่าความขุ่นและ COD ในตู้ปลาทุกตู้ของการทดลองชุดนี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเนื่องจากมีออกซิเจนเหลือพอที่ให้นิตริฟายอิงแบคทีเรียนำไปใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียและไนไตรท์แทนที่จะถูกแย่งจากแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ (heterotroph) เพื่อนำไปใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ก่อนในกรณีที่มีค่า COD สูง (อรุณวรรณ และคณะ, 2536)

การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน: จากผลการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งแสดงในภาพที่ 5 ฉ.-ช. พบว่า การใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมตั้งแต่เริ่มต้นทำการเลี้ยงปลา ช่วยเร่งให้กระบวนการไนตริฟิเคชันทั้งกระบวนการแอมโมเนียออกซิเดชัน (Ammonia Oxidation) และไนไตรท์ออกซิเดชัน (Nitrite Oxidation) ซึ่งเป็นบทบาทของ AOB และ NOB เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้แอมโมเนียและไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในตู้ปลามีระดับต่ำกว่าการใช้อุปกรณ์เสริมอื่นๆ โดยสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง จากผลการทดลองเห็นว่าแอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในระดับต่ำมาก มีค่าเฉลี่ย 0.17 ± 0.08 และ 0.16 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อปลา ทำให้ปลาไม่มีชีวิตรอดและแพร่พันธุ์ได้

ตลอดการทดลองมีปลาตายเพียงจำนวน 1 ตัว (ตารางที่ 1) ในขณะที่การใช้อุปกรณ์เสริมอื่นๆ ที่ไม่ปลูกเชื้อเริ่มต้น ได้แก่ ไบโอบอล และโพลีเอสเทอร์ มีการสะสมแอมโมเนียสูงขึ้นตั้งแต่เริ่มการทดลอง โดยมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุด 13.05 และ 18.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 10 และ 9 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 5 ฉ.) พบว่า ตู้ปลาที่ใช้ไบโอบอลกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าไนตริฟายอิงแบคทีเรียในธรรมชาติพัฒนาไม่ทัน ทำให้ปริมาณเชื้อ AOB และ NOB มีไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียปริมาณสูงในวันที่ 10 (ภาพที่ 5 ฉ.) และมีการสะสมของไนไตรท์ในช่วงวันที่ 13-15 ของการทดลอง (ภาพที่ 5 ช.) และแทบไม่เกิดกระบวนการไนไตรท์ออกซิเดชันของเชื้อ NOB เลย เพราะแทบไม่พบไนเตรท (ภาพที่ 5 ช.) การสะสมของสารพิษแอมโมเนียและไนไตรท์เป็นอันตรายต่อปลา ส่งผลให้ปลาตายได้ ซึ่งปลาในตู้เริ่มตายในวันที่ 6 เนื่องจากพิษของแอมโมเนีย และทยอยตายจนหมดในวันที่ 15 ของการทดลอง เนื่องจากพิษของไนไตรท์ (ตารางที่ 1) ส่วนตู้ปลาที่ใช้โพลีเอสเทอร์ได้ผลในลักษณะเดียวกันกับไบโอบอลคือ กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์ มีการสะสมของแอมโมเนียในปริมาณสูง โดยมีค่าสูงสุด 18.1 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 9 ของการทดลอง (ภาพที่ 5 ฉ.) ส่งผลให้ปลาเริ่มตายตั้งแต่วันที่ 5 และตายหมดในวันที่ 11 ของการทดลอง (ตารางที่ 1) ปลาจึงตายเนื่องจากพิษของแอมโมเนีย และหลังจากวันที่ 9 แอมโมเนียค่อยๆ ลดลงและเกิดไนไตรท์ขึ้นแต่ไม่มากนัก มีค่าสูงสุดเพียง 2.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 11 ของการทดลอง (ภาพที่ 5 ช.) เนื่องจากปลาในตู้ตายหมดการทดลองจึงยุติ

นอกจากนั้นการเกิดไนเตรทเป็นการยืนยันได้ว่าเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจริง พบว่าตู้ปลาที่ใช้ NPT เกิดไนเตรทตั้งแต่วันแรกและมีการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 5 ช.) ส่วนตู้อื่นที่ไม่ใช้ NPT แทบไม่เกิดไนเตรทหรือเกิดน้อยมาก เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนยังสะสมอยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนไตรท์

การทดลองชุดนี้แสดงให้เห็นว่าการปล่อยให้จุลินทรีย์ตามธรรมชาติเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันนั้นเกิดได้ช้ามาก ไม่ทันการ ถึงแม้ว่าได้มีการกรองน้ำและมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติก็ไม่สามารถพัฒนาและเจริญเพิ่มปริมาณเพื่อกำจัดสารพิษให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ทันทั่วทั้งที่ ซึ่งเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อปลา การใส่เชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรียไปตั้งแต่เริ่มต้น เช่น การประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกรองกรองน้ำตั้งแต่เริ่มต้นการติดตั้งตู้ปลาช่วยเร่งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเพื่อกำจัดสารพิษแอมโมเนียและไนไตรท์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น NPT จึงเป็นอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นและสำคัญในกรองกรองน้ำสามารถพัฒนาระบบบำบัดน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำได้

ตารางที่ 1 จำนวนปลาที่ตายและที่รอดตายในการทดลองชุดที่ 1

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนปลาที่ตายและที่รอดตาย (ตัว)					
	ไบโอบอล		เม็คโพโลสเซอร์วีนครีซหรือ		NPT	
	ตาย	รอด	ตาย	รอด	ตาย	รอด
0	0	100	0	100	0	100
1	0	100	0	100	0	100
2	0	100	0	100	0	100
3	0	100	0	100	0	100
4	0	100	0	100	0	100
5	0	100	6	94	0	100
6	7	93	6	88	0	100
7	2	91	10	78	0	100
8	3	88	12	66	0	100
9	4	84	15	51	0	100
10	7	77	24	27	1	99
11	10	67	27	0	0	99
12	12	55	ยุติการทดลอง		0	99
13	18	37			0	99
14	21	16			0	99
15	16	0			0	99
16	ยุติการทดลอง				0	99
17					0	99
18					0	99
19					0	99
20					0	99

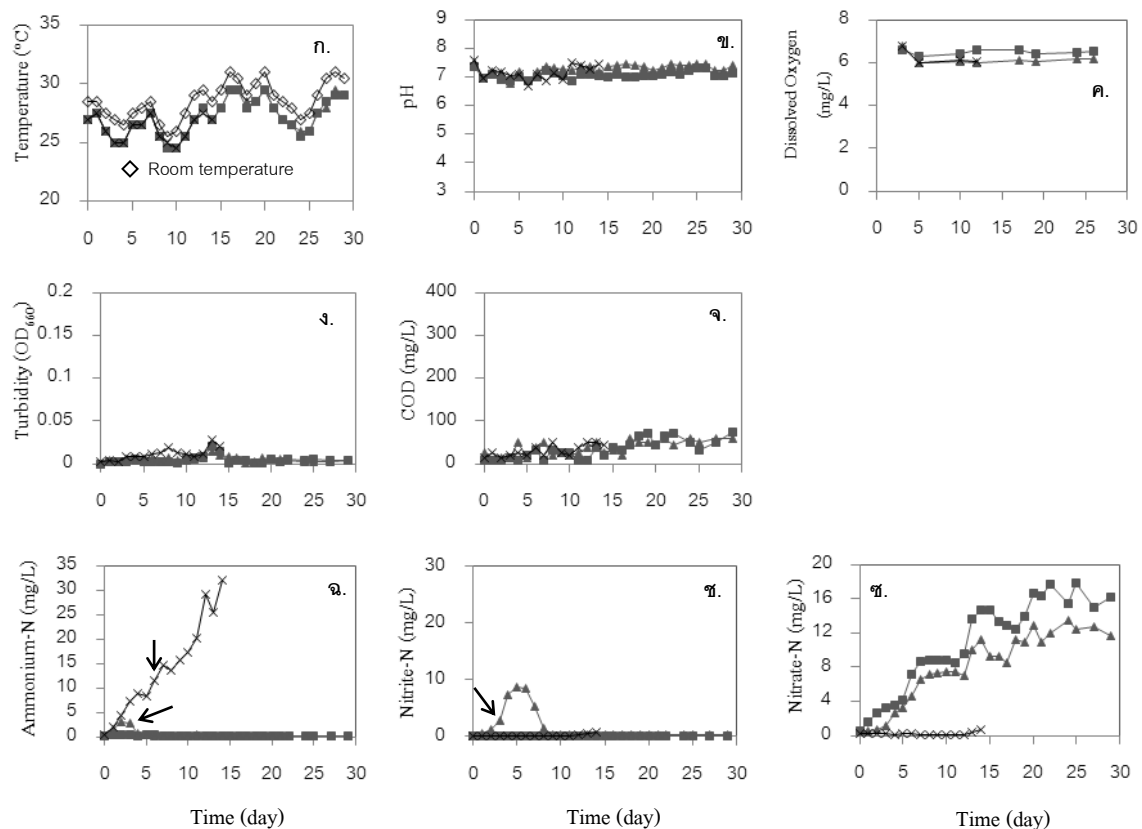
การทดลองชุดที่ 2 การศึกษาผลกระทบของปริมาณ NPT ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมในกรองกรองน้ำต่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยปริมาณ NPT ที่ใช้คือ 0, 20 และ 40 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลา ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6 จากผลของภาพที่ 6 ก.-จ. ยืนยันว่าคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ pH ออกซิเจนละลายน้ำ ความขุ่น และ COD ในตู้ปลาทุกตู้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลาและเชื้อไนตริฟายอิงแบคทีเรียด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกันดังกล่าวแล้วในการทดลองชุดที่ 1 สำหรับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันแสดงผลในภาพที่ 6 ข.-ค. พบว่าปริมาณ NPT มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันหากมีปริมาณ NPT ไม่เพียงพอจะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าตู้บรรจุ NPT จำนวน 20 เม็ดต่อลิตร แม้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ดีกว่าตู้กรองเปล่า (0 เม็ดต่อลิตร) แต่กระบวนการไนตริฟิเคชันก็เกิดไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณเชื้อไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถกำจัดสารพิษแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ลดต่ำลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลาได้ โดยในสัปดาห์แรกมีแอมโมเนียและไนไตรท์สูงสุด 2.94 และ 8.8 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 6 ง. และ 6 ข.) ทำให้ปลาบางส่วนทนต่อความเป็นพิษไม่ได้และเริ่มตายตั้งแต่วันที่ 3-7 ของการทดลอง โดยมีปลาตายในช่วงนี้ 45 ตัว (45 เปอร์เซ็นต์) ดังตารางที่ 2 ต่อมาภายหลัง 9 วัน เชื้อเจริญเพิ่มจำนวนขึ้นทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดสมบูรณ์ สามารถกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ต่ำอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลาที่เหลืออยู่ได้สำหรับกรณีตู้ปลาที่บรรจุกรองเปล่า (0 เม็ดต่อลิตร) พบว่าเกิดแต่กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) โดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรปในธรรมชาติ แทบไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันทำให้มีค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 6 ฉ.) เนื่องจากไม่พบไนไตรท์และไนเตรท (ภาพที่ 6 ค. และ 6 ข.) แสดงให้เห็นว่าไม่มีการเจริญของไนตริฟายอิง

แบคทีเรียในธรรมชาติทั้งกลุ่ม AOB และกลุ่ม NOB เลข ในช่วงตอนนี้จึงพบแอมโมเนียสะสมในปริมาณสูงโดยมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุด 32.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาที่ตายในตู้นี้จึงตายเนื่องจากสารพิษแอมโมเนีย โดยเริ่มตายในวันที่ 6 และตายหมดในวันที่ 14 ของการทดลอง (ตารางที่ 2) สำหรับในกรณีตู้ปลาที่บรรจุ NPT จำนวน 40 เม็ดต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่เพียงพอ ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ (ได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับการทดลองชุดที่ 1) สามารถกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ให้ลดลงเหลือต่ำมากตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียและไนไตรท์ 0.15 ± 0.08 และ 0.10 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 6 ข. และ 6 ช.) ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อปลา ทำให้ปลามีชีวิตรอดและแพร่พันธุ์ได้ ตลอดการทดลองมีปลาตายเพียงจำนวน 2 ตัว

จากการทดลองชุดนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ NPT มีผลต่ออัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ปริมาณ NPT ที่เพียงพอมีความสำคัญในการช่วยเร่งให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่วันแรก สำหรับการนำ NPT มาประยุกต์ใช้กับตู้ปลาที่มีจำนวนปลาและขนาดตู้ปลาดังในการทดลองนี้ ซึ่งมีอัตราการผลิตแอมโมเนียประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน (คำนวณจากตู้ปลาที่ใช้ NPT จำนวน 0 เม็ดต่อลิตร) การใช้ NPT ปริมาณ 40 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลาเป็นปริมาณที่เพียงพอ เพื่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ตารางที่ 2 จำนวนปลาที่ตายและที่รอดตายในการทดลองชุดที่ 2

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนปลาที่ตายและที่รอดตาย (ตัว)					
	ไม่บรรจุอุปกรณ์เสริม		NPT 20 เม็ดต่อลิตร		NPT 40 เม็ดต่อลิตร	
	ตาย	รอด	ตาย	รอด	ตาย	รอด
0	0	100	0	100	0	100
1	0	100	0	100	0	100
2	0	100	0	100	0	100
3	0	100	4	96	0	100
4	0	100	5	91	0	100
5	0	100	9	82	0	100
6	5	95	12	70	0	100
7	4	91	15	55	0	100
8	12	79	0	55	0	100
9	8	71	0	55	0	100
10	10	61	0	55	0	100
11	12	49	0	55	1	99
12	17	32	0	55	0	99
13	27	5	0	55	1	98
14	5	0	0	55	0	98
15	ยุติการทดลอง		0	55	0	98
16			0	55	0	98
17			0	55	0	98
18			0	55	0	98
19			0	55	0	98
20			0	55	0	98
21			0	55	0	98
22			0	55	0	98
23			0	55	0	98
24			0	55	0	98
25			0	55	0	98
26			0	55	0	98
27			0	55	0	98
28			0	55	0	98
29			0	55	0	98
30			0	55	0	98



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (ก.) พีเอช (ข.) ออกซิเจนละลายน้ำ (ค.) ความขุ่น (ง.) ซีไอดี (จ.) แอมโมเนีย (ฉ.) ไนโตร (ช.) และไนเตรท (ซ.) ของน้ำในตู้ปลาระหว่างการศึกษากล่องกรองของปริมาณ NPT ที่ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำต่อการเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชันในตู้เลี้ยงปลาสดระบบปิด
หมายเหตุ: ลูกศรชี้แสดงวันที่ปลาเริ่มตาย และการทดลองได้ยุติลงนั้นก็เนื่องจากปลาได้ตายหมด
■ : NPT จำนวน 40 เม็ดต่อลิตร ▲ : NPT จำนวน 20 เม็ดต่อลิตร x : NPT จำนวน 0 เม็ดต่อลิตร

สรุปผลการวิจัย

1. NPT เป็นอุปกรณ์ประดิษฐ์ที่มีเชื้อ nitrifiers ปริมาณมากผสมระหว่าง AOB และ NOB ตรึงอยู่บนเส้นใยในเม็ดโพลีเอสเตอร์ทำให้สามารถเร่งกระบวนการ Ammonia Oxidation และ Nitrite Oxidation เพื่อกำจัดสารพิษแอมโมเนีย และไนโตรในน้ำได้ ตามลำดับ

2. การใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในกล่องกรองน้ำสามารถเร่งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้แอมโมเนียและไนโตรที่ลดต่ำลงจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำตั้งแต่วันแรกของ

การเตรียมตู้ปลา ดังนั้น NPT จึงเป็นอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นและสำคัญของกล่องกรองน้ำ แต่การใช้กล่องกรองน้ำเปล่าหรือการใช้อุปกรณ์เสริมใดๆ เช่น ไบโอบอล เม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ไม่ตรึงเชื้อ ไม่สามารถทำให้เชื้อไนตริฟายอิงแบคที่เรียงตามธรรมชาติพัฒนาประสิทธิภาพได้ทันทั่วทั้งตู้ ทำให้ไม่สามารถเร่งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ จึงมีแอมโมเนียและไนโตรที่สะสมในปริมาณสูง เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นควรประยุกต์ใช้ NPT เป็นอุปกรณ์เสริมในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิดไปพร้อมกับการเริ่มเตรียมการติดตั้งตู้เลี้ยงปลา

3. สำหรับการนำ NPT มาประยุกต์ใช้กับตู้ปลาที่มีอัตราการผลิตแอมโมเนียประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน เช่นในการทดลองนี้ การใช้ NPT ปริมาณ 40 เม็ดต่อลิตรของน้ำในตู้ปลาเป็นปริมาณที่เพียงพอ สามารถเร่งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันให้สมบูรณ์ได้ตั้งแต่วันแรก แต่ถ้าใช้ NPT 20 เม็ดต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยไปทำให้กระบวนการไม่สมบูรณ์ จะต้องใช้เวลาพัฒนาอีกประมาณหนึ่งสัปดาห์จึงทำให้ไม่ทันการ สัตว์น้ำบางส่วนที่อ่อนแอจึงไม่สามารถทนต่อสารพิษได้

ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากการวิจัยนอกจากสามารถนำ NPT ไปประยุกต์ใช้กับตู้เลี้ยงปลาสดระบบปิดเพื่อพัฒนาระบบน้ำแล้ว คาดว่าสามารถประยุกต์ใช้กับงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ ได้อีกด้วย

2. การใช้อุปกรณ์เสริมใดๆ ไม่ว่าจะเป็นไบโอบอลหรือเม็ดโพลีเอสเทอร์ ไม่สามารถเร่งกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ เนื่องจากไม่มีการปลูกเชื้อเริ่มต้น เชื่อในธรรมชาติต้องใช้เวลาพัฒนา ประมาณ 2-4 สัปดาห์ ทำให้ปลาที่อ่อนแอไม่สามารถทนต่อพิษได้จึงตายไปเสียก่อน ดังนั้นการใช้อุปกรณ์เสริมใดๆ ในกล่องกรองน้ำ ควรมีการปลูกเชื้อเริ่มต้นและให้มีปริมาณเชื้อที่เพียงพอ

สำหรับไบโอบอลที่มีขายตามท้องตลาดนั้นไม่ผ่านการปลูกเชื้อเริ่มต้น ดังนั้นในการทดลองนี้หากมีชุดไบโอบอลที่ได้รับการปลูกเชื้อมาเปรียบเทียบกับจะนำจะได้ผลดีกว่านี้และทำให้ผลการทดลองชัดเจนยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า เช่นโพลีเอสเทอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใย ย่อมทำให้มีเชื้อเข้าไปเจริญยึดเกาะได้มากกว่าอุปกรณ์ที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า เช่นไบโอบอล ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำโดยใช้ Nitrifier Polyester Tablet (NPT) เพื่อเร่งการกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- ชมรมการเลี้ยงปลาสวยงาม. 2537. ปลาน้ำจืดสวยงาม พันธุ์ต่างประเท ส. กรุงเทพฯ : บริษัท เอนอร์ลันท์สเซนเตอร์ จำกัด.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารูวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.
- อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ, นกุล อินทระสังขา, วิเชียร ขงมานิตชัย, หยกแก้ว ยามาดี และขยทุทธ เจริญชัย ศรี. 2536. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งด้วยระบบจุลินทรีย์เกาะติดบนแผ่นตาข่าย, น. 45-61. ในรายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31, 3-6 กุมภาพันธ์ 2536. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ, พรทิพา กอประเสริฐถาวร และศิริวัฒน์ ภูเจริญไพบูลย์. 2549. การเร่งกระบวนการไนตริฟิเคชันเพื่อกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ในตู้เลี้ยงปลาแบบปิดโดยใช้แบคทีเรียไนตริไฟอิงที่ตรึงบนเศษปะการัง. วารสารวิทยาศาสตร์ มก. 24(1-3): 37-47. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ, ศิริวัฒน์ ภูเจริญไพบูลย์ และกรรณิกา ศรีปัญญา. 2548. การกำจัดแอมโมเนียด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันในน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยใช้แบคทีเรียไนตริไฟอิงที่ตรึงกับแผ่นโพลีเอสเทอร์. วารสารวิทยาศาสตร์

- มก.23(2-3): 100-114. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Alabaster, JS. and Lloyd, R. 1980. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Houston: Butterworth (Publishers) Inc.
- Antonina, M., Catalin-Sakuri, B., Wang, PC. and Matsumura, M. 1997. Nitrification performance of marine nitrifiers immobilized in polyester and macroporous cellulose carrier. J. Ferment. Bioeng. 84: 563-571.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. Washington D.C.: American Public Health Association.
- APHA, AWWA, WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. U.S.A.: American Public Health Association.
- Bitton, G. 2005. Wastewater Microbiology. 3rd ed. U.S.A.: Wiley-Liss Inc.
- Boongorsrang, A., Suga, K. and Maeda, Y. 1982. Nitrification of wastewaters containing organic carbon and inorganic nitrogen by rotating disc contractor. J. Ferment. Technol. 60(40): 357-362.
- Boyd, CE. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. New York: Elsevier Scientific Publishing Co.
- Chen, S., Ling, J. and Blancheton, JP. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. Aquac. Eng. 34:179-197.
- Christensen, M.H. and Harremoës, P. 1978. Nitrification and denitrification in wastewater treatment, pp. 319-414. In R. Mitchell (ed.). Water Pollution Microbiology, Vol.2. John Wiley & Sons, New York.
- Dong, Y., Zhang, Z., Jin, Y., Li, Z. and Lu, J. 2010. Nitrification performance of nitrifying bacteria immobilized in waterborne polyurethane at low ammonia nitrogen concentrations. J. Environ. Sci. 23(3): 366-371.
- Gross, A., Nemirovskaya, A., Zilbergh, D., Khaimova, A., Brenner, A., Snird, E., Ronena, Z. and Nejidata, A. 2003. Soil nitrifying enrichments as biofilter starters in intensive recirculating saline water aquaculture. Aquaculture. 223: 51-62.
- Liao, PB. and Mayo, RD. 1972. Salmonid hatchery water re-use system. Aquaculture. 1:317-335.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse. 3rd ed. New York: Mc Graw-Hill.
- Painter, HA. 1970. A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in Microorganisms. Water Res. 4:393-450.
- Wungkobkiat, A., Kucharoenphaibul, S., Sripunya, K. and Lekcholarut, T. 2008. Intensive nitrification process employing immobilized nitrifiers on polyester carriers in closed- system aquaria. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 43(2): 289-298.
- Zweig, DR., Morton, JD. and Stewart, MM. 1999. Source Water Quality for Aquaculture: A Guide for Assessment. Environmentally and Socially Sustainable Development. Washington D.C.: The World Bank.