

การบำบัดไนเตรทในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำด้วยกระบวนการ Autotrophic Denitrification

โดยคอลัมน์กำมะถัน-หินปูน

Nitrate Removal in Aquarium with Autotrophic Denitrification System by Sulfur-Limestone Column

ตฤณ สุวรรณมานนท์ (Trin Suwanmanon)* วราห์ เทพาหุดี (Wara Taparhudee)**

นนทวิทย์ อารีรัชช (Nontawith Areechon)*** เรืองวิชัย ยืนพันธ์ (Ruangvich Yoonphand)****

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนของคอลัมน์กำมะถัน-หินปูน ในตู้เลี้ยงปลาการ์ฟ (*Cyprinus carpio*) เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ชุดควบคุม (ไม่ใส่คอลัมน์กำมะถัน-หินปูน) และชุดทดลอง (ใส่คอลัมน์กำมะถัน-หินปูน) พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในชุดควบคุมและชุดทดลองมีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดการทดลอง ส่วนปริมาณแอมโมเนียรวมมีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดการทดลอง แต่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งตลอดการทดลองค่าน้ำหนักเฉลี่ย และค่าความยาวรวมเฉลี่ยของปลาการ์ฟ ในชุดทดลองมีค่ามากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ABSTRACT

Efficacy of sulfur-limestone column on nitrate-nitrogen removal in fancy carp (*Cyprinus carpio*) aquaria was studied for 60 days. The experiment was divided into two treatments in three replications: the first treatment, without sulfur-limestone column, served as control and the second treatment, with sulfur-limestone column. There were significant differences of nitrate-nitrogen and total ammonia concentration between the treatments ($P<0.05$) detected at day 18 and 15, respectively. For nitrite-nitrogen concentration, there was no significant difference between the treatments ($P>0.05$). Additionally, the results showed no significant difference ($P>0.05$) of dissolved oxygen (DO), whereas there was a significant difference of pH between the treatments ($P<0.05$) at day 10. After finished the experiment, average final weight and average final total length of the second treatment were significantly greater than the control ($P<0.05$).

คำสำคัญ : ไนเตรท ดีไนตริฟิเคชัน คอลัมน์กำมะถัน-หินปูน

Key Words : Nitrate, Denitrification, Sulfur-Limestone Column

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด โดยทั่วไปนั้นจะเกิดการสะสมของสารอนินทรีย์-ไนโตรเจน ในหลากหลายรูปแบบแตกต่างกัน ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) และไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีสาเหตุจากเศษอาหาร และสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำเป็นสำคัญ โดยสารอนินทรีย์-ไนโตรเจน ลำดับแรกเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ผ่านกระบวนการ Ammonification ได้แอมโมเนียม-ไนโตรเจน จากนั้นแอมโมเนียม-ไนโตรเจน จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ด้วยกระบวนการ Nitrification ตามลำดับ (สุब्ณจิต, 2548) ซึ่งไนเตรท-ไนโตรเจนจะเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการ Nitrification และไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้ถือเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย ดังนั้นการมีไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย ส่งผลให้ทัศนียภาพภายในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำไม่สวยงาม นอกจากนี้ไนเตรท-ไนโตรเจนยังมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แม้ว่าความเป็นพิษของไนเตรท-ไนโตรเจนจะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นพิษของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน แต่ถ้าวการสะสมของไนเตรท-ไนโตรเจน จากกระบวนการ Nitrification เพิ่มขึ้น จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการเปลี่ยนรูปของไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน โดยอาศัยแบคทีเรียภายในระบบทางเดินอาหารของตัวสัตว์น้ำ ซึ่ง Environment Canada, (2003) กล่าวว่าไนไตรท์-ไนโตรเจนที่ได้จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) กลายเป็นเมธิโมโกลบิน (Methemoglobin) ทำให้ความสามารถในการลำเลียง

ออกซิเจนลดลงจึงเป็นสาเหตุของโรคเลือดสีน้ำตาล (Brown blood disease) โดย Camargo *et al.* (2005) ได้แนะนำปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับสัตว์น้ำจืดและสัตว์น้ำเค็มไม่ควรมากกว่า 2 และ 20 $\text{mg NO}_3^- \text{-N/L}$ ตามลำดับ ดังนั้น การบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญต่อสุขภาพสัตว์น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยกระบวนการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน มีหลากหลายวิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี และวิธีการทางชีวภาพ (ศิริวัฒน์, 2544) แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้กระบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลดต้นทุน และมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน (วิฐ, 2546) ซึ่งกระบวนการ Denitrification ถือเป็นแนวทางหนึ่งในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน โดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยแบคทีเรียในกลุ่ม Denitrifying bacteria ซึ่งมีการทดลองโดย กิตติ (2535) และ สุรัชดา (2544) ในการใช้แบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* ร่วมกับกำมะถัน (Sulfur) และหินปูน (Limestone) ในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน จากน้ำสังเคราะห์ซึ่งแบคทีเรีย *T. denitrificans* จะใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยมีกำมะถันเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และมีหินปูนช่วยรักษาสมดุลของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จึงได้นำเทคนิคและวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

วัตถุประสงค์

ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรทของแบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การทดลองวางแผนแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีปลาการ์ฟที่ได้จากการสุ่มจำนวน 10 ตัว ทำการทดลอง 60 วัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ไม่ใส่คอลัมน์บำบัดในเตรท (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 ใส่คอลัมน์บำบัดในเตรท (ชุดทดลอง)

การเตรียมแบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* (DSM 12475) สำหรับการทดลอง (ดัดแปลงจาก Claus and Kutzner, 1985; Krishna and Philip, 2005)

1. เลี้ยงแบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* (DSM 12475) ตามสูตรอาหาร 832 THIOBACILLUS DENITRIFICANS II MEDIUM ด้วยอาหารเหลวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ประมาณ 48-72 ชั่วโมง ด้วยเครื่องผสมสารละลายชนิดแนวขวาง (Shaker) ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที

2. นำแบคทีเรีย *T. denitrificans* จากข้อ 1 เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (Microcentrifuge) ที่ความเร็วรอบ 8,100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำเกลือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ 1-2 ครั้ง เก็บรักษาแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การเตรียมตู้ปลาทดลอง

การทดลองใช้ตู้ปลาขนาด 30×50×30 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง) ล้างทำความสะอาด พร้อมทั้งติดตั้งชุดกรองได้ชั้นกรวด และอุปกรณ์ให้อากาศ โดยชุดที่ไม่ใส่คอลัมน์บำบัดในเตรท ป้อนน้ำที่ผ่านการกรองได้ชั้นกรวดกลับสู่ตู้ทดลอง แต่ชุดที่ใส่คอลัมน์บำบัดในเตรท ป้อนน้ำที่ผ่านการกรองได้ชั้นกรวดเข้าสู่คอลัมน์บำบัด ในเตรทก่อนปล่อยกลับสู่ตู้ทดลอง โดยเตรียมน้ำก่อน เริ่มการทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน

การเตรียมสัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ปลาการ์ฟ (*Cyprinus carpio*) ที่ความยาวรวมเฉลี่ย 8.23 ± 0.46 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 7.59 ± 1.05 กรัม โดยปรับสภาพก่อนการทดลอง ด้วยการเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาสปริมาตร 0.5 ลูกบาศก์เมตร และเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน มีการให้อากาศ และเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

ทำการสุ่มปลาการ์ฟหลังจากปรับสภาพ เพื่อชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวรวม ก่อนปล่อยปลาลงสู่ตู้ทดลอง ตู้ละ 10 ตัว โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดระยะเวลาการทดลอง

การเตรียมคอลัมน์บำบัดในเตรท

คอลัมน์บำบัดในเตรท ประกอบด้วย เม็ดกำมะถัน เปลือกหอยนางรมบด (แทนหินปูน) และแบคทีเรีย *T. denitrificans* โดยมีวิธีการเตรียม ดังนี้

1. บรรจุเม็ดกำมะถันและเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน 1 : 1 (ปริมาตร : ปริมาตร) โดยบรรจุเม็ดกำมะถันและเปลือกหอยนางรมบด ลงในถุงตาข่ายก่อนใส่ถุงเม็ดกำมะถันในชั้นล่าง และถุงเปลือกหอยนางรมบดในชั้นบนของคอลัมน์บำบัดในเตรทตามลำดับ

2. นำแบคทีเรีย *T. denitrificans* ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่ค่าการดูดกลืนแสง (Optical density) เท่ากับ 1.0 ใส่ในคอลัมน์บำบัดในเตรทจนท่วมเม็ดกำมะถัน

3. ป้อนน้ำที่ผ่านการกรองได้ชั้นกรวดเข้าสู่คอลัมน์บำบัดในเตรท โดยกำหนดอัตราไหลของน้ำจากคอลัมน์บำบัดในเตรทกลับสู่ตู้ทดลองที่อัตราไหล 0.1 ลิตรต่อชั่วโมง

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter; YSI Professional Plus) วิเคราะห์ทุกวัน

2. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter; YSI Professional Plus) วิเคราะห์ทุกวัน
3. แอมโมเนียรวม (Koroleff's Indophenol Blue Method) วิเคราะห์ทุก 3 วัน
4. ไนโตร-ไนโตรเจน (Colorimetric Method) วิเคราะห์ทุก 3 วัน
5. ไนเตรท-ไนโตรเจน (Cadmium Reduction Method) วิเคราะห์ทุก 3 วัน

ตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโตของปลา ดังนี้

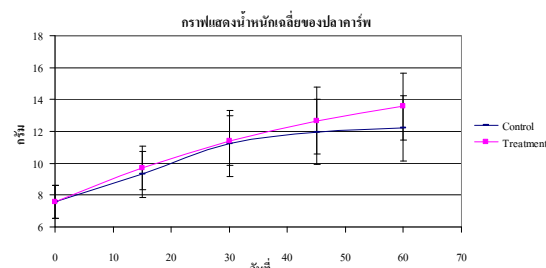
1. น้ำหนักตัว (Body weight) ทุก 15 วัน
2. ความยาวรวม (Total length) ทุก 15 วัน
3. อัตรารอดตาย (Survival Rate) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

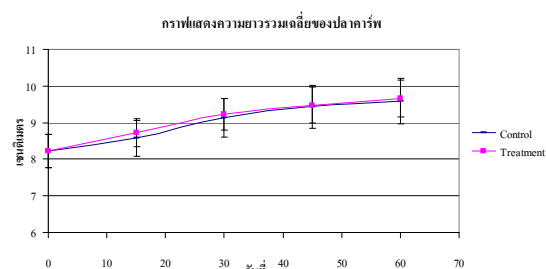
วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติจากข้อมูลคุณภาพน้ำ และอัตราการเจริญเติบโต โดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มประชากร Two-Independenct Samples Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลาคาร์ฟ ในชุดควบคุม (ไม่ใส่คอสมันน์บำบัดไนเตรท) และชุดทดลอง (ใส่คอสมันน์บำบัดไนเตรท) พบว่าค่าน้ำหนักเฉลี่ย และค่าความยาวรวมเฉลี่ยของปลาในชุดควบคุมมีค่าน้อยกว่าชุดทดลอง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนอัตราการรอดมีค่าเท่ากับ 96 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

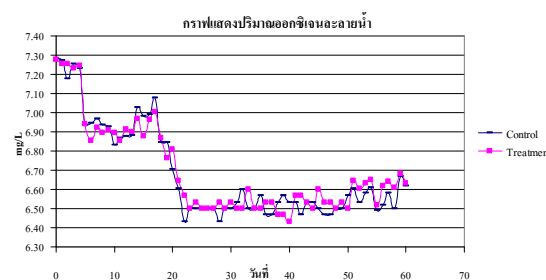


ภาพที่ 1 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของปลาคาร์ฟ (กรัม)



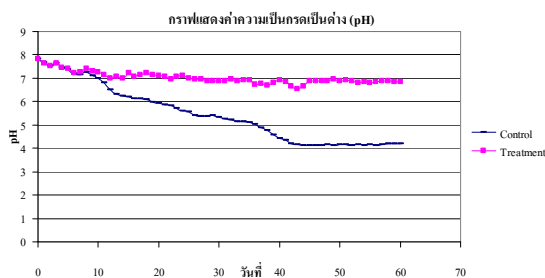
ภาพที่ 2 แสดงความยาวรวมเฉลี่ยของปลาคาร์ฟ (เซนติเมตร)

ส่วนผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของชุดควบคุมและชุดทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3



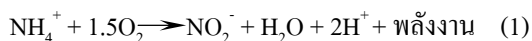
ภาพที่ 3 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่าชุดควบคุมและชุดทดลอง มีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.99 ± 0.05 และ 7.26 ± 0.03 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4

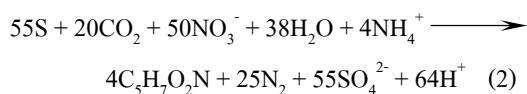


ภาพที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ซึ่งพบว่าค่า pH ของชุดควบคุมมีค่าลดต่ำลงตลอดระยะเวลาการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 5.82 ซึ่ง สุนันท์ (2548) กล่าวว่า การเกิดกระบวนการ Nitrification จะทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดเนื่องจากกระบวนการแตกตัวของแอมโมเนียมไนโตรเจน เพื่อเปลี่ยนเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน จะทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออน $2H^+$ ดังสมการที่ 1

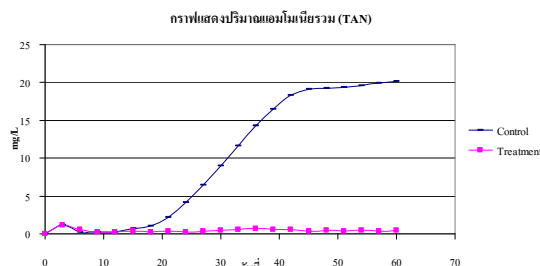


แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ปริมาณแอมโมเนียมต่ำกว่าชุดควบคุม แต่ค่า pH กลับสูงกว่าก็เนื่องมาจากการใช้แอมโมเนียมไนโตรเจนของแบคทีเรีย *T. denitrificans* ดังสมการที่ 2 (Batchelor and Lawrence, 1978)



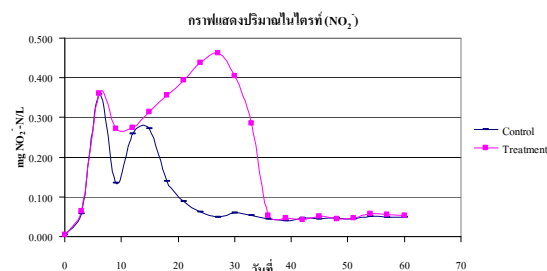
ส่งผลให้การเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน บางส่วนหายไปด้วยกระบวนการของแบคทีเรีย *T. denitrificans* จึงทำให้เกิด $2H^+$ ลดลง แต่จากกระบวนการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจนของแบคทีเรีย *T. denitrificans* จะได้ไฮโดรเจนไอออน $64H^+$ ดังสมการที่ 2 ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดเช่นกัน แต่เนื่องจากการใส่เปลือกหอยนางรมบดซึ่ง

ใช้แทนหินปูนจึงช่วยรักษาสมดุลของค่า pH ของชุดทดลองให้คงที่ได้



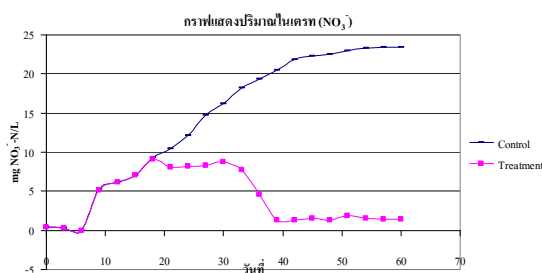
ภาพที่ 5 แสดงปริมาณแอมโมเนียรวม

นอกจากนี้ปริมาณแอมโมเนียรวมในชุดควบคุมและชุดทดลอง มีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 15 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 ± 0.20 และ 0.32 ± 0.03 mg/L ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และมีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 9.69 mg/L ส่วนชุดทดลองมีปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.42 mg/L ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 2 ในการใช้แอมโมเนียมไนโตรเจน ของแบคทีเรีย *T. denitrificans*



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน

ส่วนปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในชุดควบคุมและชุดทดลอง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดการทดลอง แต่จากภาพที่ 6 พบว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในชุดทดลองสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการ Denitrification ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนไนเตรท-ไนโตรเจน กลับมาเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน ในช่วงแรกของการทดลอง



ภาพที่ 7 แสดงปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน

ส่วนปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในชุดควบคุม และชุดทดลอง มีความแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.28 ± 0.04 และ 9.07 ± 0.09 mg NO_3^- -N/L โดยชุดควบคุมมีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองซึ่งมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 14.28 mg NO_3^- -N/L ส่วนชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไนเตรท-ไนโตรเจนตลอดการทดลองเท่ากับ 4.08 mg NO_3^- -N/L

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าการใช้คอลัมน์กัมมะถัน-หินปูน ร่วมกับแบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* ในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน ภายในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำ สามารถลดปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนอย่างได้ผล และ จากคุณสมบัติของแบคทีเรีย *Thiobacillus denitrificans* ในการใช้แอมโมเนียม-ไนโตรเจน ดังสมการที่ 2 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของไนไตรท์ - ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ส่งผลให้เกิดไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน ลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการ Denitrification ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นใน การเกิดกระบวนการ Denitrification ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพน้ำมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในชุดทดลอง มีปริมาณสูงกว่าชุดควบคุมในช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเกิดกระบวนการ Denitrification ที่ไม่สมบูรณ์ภายในคอลัมน์กัมมะถัน-หินปูน จึงควรปรับปรุงรูปแบบของคอลัมน์เพื่อให้ประสิทธิภาพ ในการบำบัดไนเตรท-ไนโตรเจน สมบูรณ์มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผศ.ดร. วรภัท เทพาหุศิริ รศ.ดร. นนทวิทย์ อารีรักษ์ และ ผศ. เรืองวิชัย ชื่นพันธ์ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำ การทดลองอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- กิตติ เกษตรธรรม. 2535. การกำจัดไนเตรทจากน้ำด้วย กระบวนการออกซิโดไนไตรฟิเคชันในถังกรองซัลเฟอร์-หินปูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิฐ นันทิบุญญธาดา. 2546. การกำจัดไนเตรทในตู้เลี้ยงปลาโดยกระบวนการดีไนไตรฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริวัฒน์ ภูเจริญไพบุลย์. 2544. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงปลาน้ำจืดระบบปิดโดยกระบวนการไนไตรฟิเคชันและดีไนไตรฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุบัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.
พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรัชดา ไชยชนะ. 2544. การกำจัดไนเตรทโดยออกซิโด
โทรฟิคดีไนตริฟิเคชันในคอลัมน์กัมมะถัน-
หินปูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Batchelor, B. and A.W. Lawrence. 1978.
Autotrophic denitrification using elemental
sulfur. J Water Pollut Control Fed 50:
1986-2001
- Camargo, J.A., A. Alonso and A. Salamanca. 2005.
Nitrate toxicity to aquatic animals: a
review with new data for freshwater
invertebrates. Chemosphere 58: 1255-
1267.
- Claus, G. and H.J. Kutzner. 1985. Physiology and
kinetics of autotrophic denitrification by
Thiobacillus denitrificans. Appl. Microbiol
biot. 22: 283-288.
- Krishna, M. and L. Philip. 2005. *Thiobacillus*
denitrificans immobilized biotrickling
filter for NO₂ removal. Clean Techn.
Environ. Policy 7: 285-293.
- Moon, H.S., S.W. Chang, K. Nam, J. Choe and J.Y.
Kim. 2006. Effect of reactive media
composition and co-contaminants on
sulfur-based autotrophic denitrification.
Environ. Pollut. 144: 802-807.