

การฟื้นฟูสภาพและประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการตากแดด

Recovery and Ammonia Removal Efficiency of Nitrifying Bacteria in Sun-Dried Bottom Soil from Shrimp Pond

มะลิวัลย์ คุตะโก^{1*}, วสันต์ รongจัตตุ², พิมป์ปวีณ์ เริงเกษตรกิจ³ วศิน ยูวานะเทมีย¹,
สรวิศ เผ่าทองสุข^{4,5}

Maliwan Kutako^{1*}, Vasan Rongjuttu², Pimpawee Rerngkasetkit³ Vasin Yuvanatemiya¹,
Sorawit Powtongsook^{4,5}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการฟื้นฟูสภาพและประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการตากแห้ง โดยเก็บดินพื้นบ่อมาตากแดดเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นบรรจุลงในถังให้ดินมีความสูงประมาณ 8 เซนติเมตร หรือมีพื้นที่ผิวดินเท่ากับ 0.0615 ตารางเมตร เติมน้ำทะเล (25 พีเอสยู) ปริมาตร 20 ลิตร ปรับค่าอัลคาไลน์ให้อยู่ในช่วง 100-130 มิลลิกรัม/ลิตร และเติมอากาศตลอดเวลา จากนั้นเติมแอมโมเนียคลอไรด์ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เพื่อเป็นตัวแทนของเสียไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่าเมื่อบ่มดินตากแห้ง เป็นเวลา 30 วัน สามารถกระตุ้นไนตริไฟอิงแบคทีเรียให้ฟื้นฟูสภาพและเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ได้ โดยไม่พบการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรต์ แต่กลับพบไนเตรตสะสมในปริมาณคงที่หลังจากวันที่ 15 ของการทดลอง และในวันที่ 58 ของการทดลอง ได้นำดินที่บ่มเตรียมสภาพแล้วไปทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียโดยเปลี่ยนถ่ายน้ำและเติมแอมโมเนียให้มีความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร พบว่ามีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 0.23, 2.26 และ 2.10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน หรือคิดเป็น 3.66, 36.76 และ 34.21 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าอัตราบำบัดแอมโมเนียสูงสุดที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 54.24 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน เมื่อเติมแอมโมเนีย 7 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และถ้าเติมแอมโมเนียให้มีความเข้มข้นสูงกว่านี้อัตราบำบัดแอมโมเนียสูงสุดจะลดลง

คำสำคัญ: ดินพื้นบ่อ, ดินตากแห้ง, อัตราการบำบัดแอมโมเนีย, ไนตริฟิเคชัน, บ่อเลี้ยงกุ้ง

¹อาจารย์, ²นิสิตปริญญาตรี, ³นักวิทยาศาสตร์ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี 22170

⁴นักวิจัย ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปทุมธานี 12120

⁵นักวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญด้านเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 10330

¹Lecturer, ²Undergraduate student, ³Scientist, Faculty of Marine Technology, Burapha University Chanthaburi Campus 22170

⁴National Center for Biotechnology and Genetic Engineering, National Science and Technology Development Agency, Pathum Thani, 12210

⁵Center of Excellence in Marine Biotechnology, Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330

*Corresponding author: Maliwan Kutako, maliwan@buu.ac.th

Abstract

This study investigated the recovery and efficiency of ammonia removal in sun-dried soil from shrimp pond. Bottom soil of shrimp pond was collected and dried under direct sunlight exposure for 14 days. Thereafter, sun-dried soil was packed in experimental tanks to 8 cm height (or about 0.0615 m² soil surface area), filled with 25 PSU salinity seawater, maintained the alkalinity between 100-130 mg-CaCO₃/L and aerated throughout the experimental period. All experimental tanks were supplied with ammonium chloride solution to reach final concentration of approximately 2 mg-N/L for the substitution of nitrogenous waste. Findings were found that nitrifying bacteria in sun-dried soil can be recovered and became active to oxidize ammonia and nitrite. The complete nitrification was occurred when the sun-dried soil was incubated for 30 days. Ammonia and nitrite were totally eliminated while nitrate was constantly after day 15 of experiment. Within 58 days of experiment, water in all tanks were completely drained and then filled with seawater. Ammonia removal efficiency of sun-dried soil was evaluated. Ammonium chloride was applied in experimental tanks to approach final concentration in level of 2, 4 and 10 mg-N/L, resulted in maximum ammonia removal rate as 0.23, 2.26 and 2.10 mg-N/L or equal to 3.66, 36.76 and 34.21 mg-N/m²/day, respectively. Moreover, the calculation of maximum rate of ammonia treatment (V_{max}) was 54.24 mg-N/m²/day when supplied with ammonium chloride by 7 mg-N/L. Above rate can be decreased if filled ammonia in level of higher concentration.

Keywords: Bottom soil, Sun-dried soil, Ammonia removal rate, Nitrification, Shrimp pond

บทนำ

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (intensive system) ต้องเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นสูงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง แต่ก็จะมีการปล่อยของเสียและสะสมอยู่ในบ่อ ส่วนใหญ่แล้วของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของอาหารที่เหลือจากการบริโภคของสัตว์น้ำ ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา และซากของสิ่งมีชีวิตต่างๆ [1,2] แต่ในบ่อดินมีกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (biogeochemical processes) ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนและกำจัดไนโตรเจนออกจากบ่อได้ เช่น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) เปลี่ยนรูปเป็นไนไตรต์ และไนเตรตตามลำดับ ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification process) ส่วนไนเตรตซึ่งเป็น

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นนั้นสามารถกำจัดออกจากบ่อได้ในชั้นของดินตะกอนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification process) [3] และในกรณีที่กระบวนการดังกล่าวเกิดไม่สมบูรณ์จะมีผลทำให้ไนไตรต์สะสมได้ [4]

หลังจากเลี้ยงกุ้งแต่ละรอบแล้ว เกษตรกรนิยมกำจัดของเสียที่สะสมอยู่บริเวณดินพื้นบ่อด้วยวิธีการฉีดเลน ซึ่งเลนนี้อุดมไปด้วยสารอินทรีย์และของเสียไนโตรเจน [2] จากนั้นเกษตรกรจะตากบ่อให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและเป็นอีกขั้นตอนการเตรียมบ่อไว้สำหรับการเลี้ยงในรอบต่อไป การฝั่งและตากบ่อนี้จะช่วยเร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลือในดินตะกอนได้ และการที่ดินได้สัมผัสกับแสงแดดซึ่งประกอบด้วยรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) จะทำให้แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคตาย แต่ทว่าแบคทีเรียที่เกิด

ประโยชน์ เช่น ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียและดีไนโตรไฟอิงแบคทีเรียอาจจะตายด้วยเช่นกัน ซึ่งมีการศึกษาความหลากหลายของแบคทีเรียในกลุ่มของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในดินที่ตากด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) พบว่าความหลากหลายของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ลดลง จึงส่งผลให้เกิดไนโตรฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ได้ [5,6] แสดงให้เห็นว่าการตากบ่อมีทั้งข้อดีและข้อเสีย แต่เมื่อมีการเติมน้ำลงในบ่ออีกครั้งจะพบว่าแบคทีเรียจะสามารถทำงานได้อีกครั้งเช่นกัน [7,8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำดินพื้นบ่อที่ตากแห้งมาบรรจุลงในถังทดลองและเติมน้ำอีกครั้งเพื่อจำลองการเตรียมบ่อสำหรับเลี้ยงกุ้ง จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเพื่อทราบถึงระยะเวลาบ่มที่กระตุ้นให้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในดินที่ผ่านการตากแห้งฟื้นคืนความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันได้ รวมทั้งได้ตรวจวัดอัตราการบำบัดแอมโมเนียเพื่อประเมินความสามารถในการรองรับแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มเตรียมสภาพแล้ว ทั้งนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับเตรียมบ่อดินเพื่อกำจัดแอมโมเนียและป้องกันการสะสมไนโตรตในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ดินที่ใช้ในการวิจัย

เก็บดินพื้นบ่อกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงนาน 4 เดือน จากศูนย์วิจัยเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ที่ระดับความลึกของชั้นดินในช่วง 0-10 เซนติเมตร นำดินมาผึ่งแดดเป็นเวลา 14 วัน จึงนำไปใช้ในการทดลอง

การฟื้นคืนความสามารถบำบัดของเสียไนโตรเจนของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในดินที่ผ่านการตากแห้ง

บรรจุดินแห้งลงในถังพลาสติกที่บ่งแสงจำนวน 9 ถัง โดยดินมีความหนาประมาณ 8 เซนติเมตร (มีพื้นที่ผิวดินเท่ากับ 0.0615 ตารางเมตร) จากนั้นเติมน้ำทะเล (ความเค็ม 25 PSU) ปริมาตร 20 ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนและปรับอัลคาไลน์ดีให้อยู่ในช่วง 100-130 มิลลิกรัม-CaCO₃/ลิตร จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ลงในถังให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เพื่อเป็นตัวแทนของเสียไนโตรเจน ในระหว่างการบ่ม 58 วัน จะให้อากาศตลอดเวลาและเก็บน้ำเป็นประจำทุกวัน เพื่อตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียและไนโตรต ด้วยวิธี Phenate และวิธี Griess-Ilosvay Diazotization ตามลำดับ [9] และวิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธี UV-visible screening [10] รวมทั้งตรวจวัดอุณหภูมิและ pH ในน้ำด้วย pH meter (รุ่น CONSORT C532x, Belgium) วัดค่าการละลายออกซิเจนในน้ำโดยใช้ DO meter (รุ่น DO 200, YSI INC, China) และวัดค่าอัลคาไลน์ดีด้วยชุดทดสอบทางการค้า (PARA Alkalinity Test) โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่อเกิดปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันแบบสมบูรณ์ ซึ่งจะไม่พบการสะสมของทั้งแอมโมเนียและไนโตรต

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มเตรียมสภาพให้เกิดปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันแบบสมบูรณ์

นำถังที่ผ่านการทดลองจากข้างต้นมาใช้ทดลองโดยเทน้ำออกและไม่ให้หน้าดินถูกทำลายหรือฟุ้ง จากนั้นเติมน้ำทะเล (ความเค็ม 25 PSU) ปริมาตร 20 ลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนและปรับอัลคาไลน์ดีให้อยู่ในช่วง 120-130 มิลลิกรัม-CaCO₃/ลิตร แบ่งถังออกเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละชุดทำ 3 ซ้ำ ดังนี้ (1) เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ลงในถังทดลองให้มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร (2) 4 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และ (3) 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร บ่มทุกชุดการทดลองโดยให้

อากาศ และตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรต์ และไนเตรต ด้วยวิธีเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้นเป็นประจำทุก 12 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณหาอัตราการบำบัดแอมโมเนียของดินในทุกชุดการทดลองด้วยสมการที่ (1) [11]

$$V = (S_0 - S_t) / (T_0 - T_t) \quad (1)$$

เมื่อ V = อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร/วัน หรือ มิลลิกรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน)

S_0 = ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ณ เวลา T_0 (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร หรือ มิลลิกรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร)

S_t = ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ณ เวลา T_t (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร หรือ มิลลิกรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร)

หลังจากได้อัตราการบำบัดแอมโมเนีย (V) จะนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (S) ซึ่งตามทฤษฎีแล้วอัตราการบำบัดจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของแอมโมเนีย และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) [11]

$$V = (V_{max} \times S) / (K_s + S) \quad (2)$$

เมื่อ V_{max} = อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน หรือ มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน)

S = ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร หรือ มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร)

K_s = ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร หรือ มิลลิกรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร)

ทั้งนี้การคำนวณ V_{max} และ K_s นั้นสามารถคำนวณได้จากการสร้างกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่าง S และ S/V โดยที่ $V_{max} = 1/\text{slope}$ และ $K_s = \text{จุดตัดแกน X}$

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การฟื้นคืนความสามารถบำบัดของเสียไนโตรเจนของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในดินที่ผ่านการตากแห้ง

Figure 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมน้ำทะเลลงไปถึงทดลองที่บรรจุดินผ่านการตากแห้งแล้วจะมีปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรต์และไนเตรตเท่ากับ 0.03, 0.04 และ 1.88 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตรตามลำดับ จากนั้นมีแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในวันที่ 8 ของการทดลอง โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.79 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เนื่องจากอาจเกิดการดำเนินงานของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic microorganisms) ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในดินกลายเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออน และปลดปล่อยออกสู่มวลน้ำเรียกกระบวนการนี้ว่าแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) [1] แต่หลังจากนั้นกลับพบว่าแอมโมเนียลดลงและมีปริมาณต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เพราะเกิดจากการทำงานของไนตริไฟอิงแบคทีเรียกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย (ammonia oxidizing bacteria, AOB) ที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรต์ [2] ดังนั้นผลจากการทดลองจึงพบว่าช่วงเวลาที่แอมโมเนียลดลงกลับพบว่าไนโตรต์เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในวันที่ 16 ของการทดลองนั้น ไนโตรต์ได้สะสมเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 1.33 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร อย่างไรก็ตามเนื่องจากในชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic zone) อาจมีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ซึ่งไนโตรต์เป็นสารตัวกลางของกระบวนการนี้ จึงอาจพบไนโตรต์สะสมได้หากเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ [12]

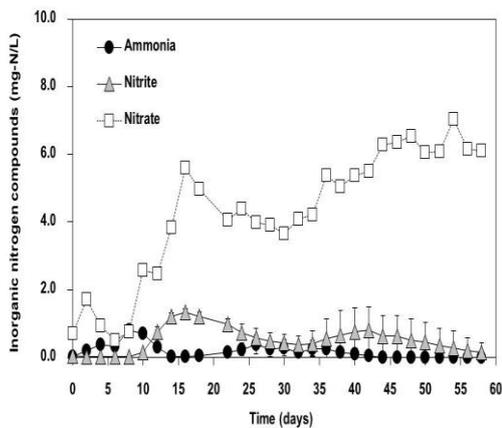


Figure 1 Changes of nitrogen compounds in experiment tanks that packed with the sun-dried soil from shrimp

จากผลการทดลองยังพบว่าไนไตรต์ลดลงต่ำกว่า 0.43 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ภายใน 30 วัน และจากนั้นก็กลับมีไนไตรต์สะสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Figure 1) และในวันที่ 58 ของการทดลอง พบเพียง 0.006 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร อีกทั้งพบว่าไนเตรตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.88 เป็น 5.42 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร (ในวันที่ 0-18 ของการทดลอง) แสดงให้เห็นว่าอาจเกิดการทำงานของไนไตรต์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย (nitrite oxidizing bacteria) [1] และในช่วงวันที่ 19-35 ของการทดลอง ไนเตรตลดลงและสะสมคงที่ เช่นเดียวกับวันที่ 36-58 พบว่าไนเตรตสะสมค่อนข้างคงที่โดยมีค่าในช่วง 5.36-7.04 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ทั้งนี้อาจเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในมวลน้ำควบคู่กับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในชั้นดินได้

ดังนั้นผลจากการทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่าถึงแม้ดินพื้นบ่อจะผ่านการตากแห้ง แต่หากมีการเติมน้ำเพื่อให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นและบ่มในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งในการทดลองนี้พบว่ามีการละลายออกซิเจนในน้ำ pH และค่าอัลคาไลน์ที่อยู่ในช่วง 5.09-6.04 มิลลิกรัม-ออกซิเจน/ลิตร 6.84-8.93 และ 100-130 มิลลิกรัม-CaCO₃/ลิตร ตามลำดับจะสามารถกระตุ้นให้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียทำงาน

เปลี่ยนรูปสารอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ โดยพบว่าการบ่มดินที่ผ่านการตากแห้งเป็นเวลามากกว่า 30 วัน จะสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ได้

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของดินที่ผ่านการบ่มเตรียมสภาพให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์

เมื่อบ่มดินตากแห้งเป็นเวลา 58 วัน จนมีสภาพพร้อมในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จึงได้ทดสอบประสิทธิภาพของดินในการบำบัดแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 2, 4 และ 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร Figure 2A-C พบว่ามีแอมโมเนียเริ่มต้นเท่ากับ 1.38, 2.46 และ 9.64 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อผ่านไป 60 ชั่วโมง แอมโมเนียลดลงและพบเพียง 0.46, 0.05 และ 1.25 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ (Figure 2A) ซึ่งในช่วงที่แอมโมเนียลดลงนั้นก็กลับพบไนไตรต์เพิ่มขึ้นและมีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 0.63, 2.45 และ 4.41 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ (Figure 2B) และไม่พบไนเตรตสะสมในถังทดลอง (Figure 2C) ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดแบบไม่สมบูรณ์ เพราะในการทดลองนี้ใช้เวลาเพียงบ่ม 60 ชั่วโมง หรือ 2.5 วัน เท่านั้น ซึ่งหากต้องการให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์จะต้องบ่มดินให้นานขึ้น ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่าดินพื้นบ่อที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งแล้ว เมื่อนำมาบ่มเป็นเวลา 21 วัน จึงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแบบสมบูรณ์ได้ [5] ทั้งนี้ระยะเวลาในการบ่มเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรียให้มีสภาพพร้อมใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ pH ค่าอัลคาไลน์ดี ความเค็ม แหล่งน้ำเสียหรือความเข้มข้นของแอมโมเนีย ชนิดและจำนวนเชื้อไนตริไฟอิงแบคทีเรีย เป็นต้น [13] อย่างไรก็ตามดินที่ผ่านการบ่มเตรียมความพร้อมแล้วจะสามารถบำบัดแอมโมเนียได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่

ที่ผ่านการตกแห้งจะต้องใช้เวลามากกว่า 14 วัน (Figure 1)

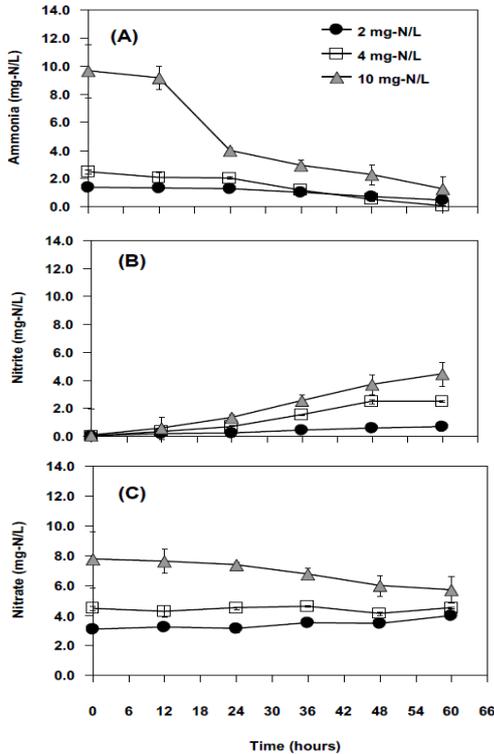


Figure 2 Changes of ammonia (A), nitrite (B) and nitrate (C) in experimental tanks during 60 hours incubation.

จาก Figure 2A ที่เติมแอมโมเนีย 2, 4 และ 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร พบว่าดินที่ผ่านการบ่มเตรียมสภาพแล้วมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 0.022, 0.055 และ 0.075 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ หรือคิดเป็น 0.528, 1.32 และ 1.8 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน ตามลำดับ หรือ 8.58, 21.46 และ 29.26 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นด้วยแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำหรือสิ่งแวดล้อม เช่น บ่อเลี้ยงปลาน้ำจืดแบบผสมผสานในประเทศไทย พบว่ามีอัตราการบำบัดแอมโมเนียหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 1-35 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน

[14] ส่วนในบริเวณอ่าว Hiroshima ประเทศญี่ปุ่น กลับพบเพียง 0-7.16 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน [15]

Table 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการนำผลการทดลองไปคำนวณตามวิธีการที่อธิบายในข้างต้น และจากนั้นนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้คำนวณอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด หรือ V_{max} [11] พบว่าการเติมของเสียในรูปของแอมโมเนียที่ 2, 4 และ 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร มีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 0.23, 2.26 และ 2.10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน ตามลำดับ หรือคิดเป็น 3.66, 36.76 และ 34.211 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ

Table 1 Parameter values from different ammonia concentrations

Ammonia (mg-N/L)	$1/V_{max}$ (mg-N/L/day)	V_{max} (mg-N/L/day)	K_s (mg-N/L)
2	4.445	0.23	3.122
4	0.442	2.26	0.180
10	0.475	2.10	0.582

จากข้อมูลใน Table 1 สามารถสร้างกราฟ (Figure 3) โดยให้อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดเป็นแกน Y และให้ความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมลงในถังทดลองเป็นแกน X ซึ่ง Figure 3 จะแสดงแนวโน้มค่าอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดของดินตกแห้งที่ผ่านการบ่มเตรียมสภาพแล้ว 58 วัน และกระตุ้นโดยการเติมแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลจาก Figure 3 แสดงให้เห็นว่าหากมีการเติมแอมโมเนียมากกว่า 7 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร จะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดลดลง ซึ่งในดินจากพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมากขึ้นหากดินมีปริมาณแอมโมเนียสูง [16] และอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในดินตะกอนจากทะเล Ariake จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.5 มิลลิโมลาร์-

ไนโตรเจน/กรัมดินแห้ง/ชั่วโมง เมื่อกระตุ้นโดยเติมแอมโมเนีย 3000 มิลลิโมลาร์ [17] หากเพิ่มปริมาณแอมโมเนียให้สูงเกินไปจะส่งผลให้อัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุดจะลดลงได้ ทั้งนี้อัตราการบำบัดของเสียไนโตรเจนหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไนโตรเจนและสภาวะแวดล้อมอื่นๆ [16,17] ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าดินมีความสามารถในการรองรับของเสียไนโตรเจนได้ แต่มีข้อจำกัดหากมีปริมาณแอมโมเนียที่สูงเกินไป

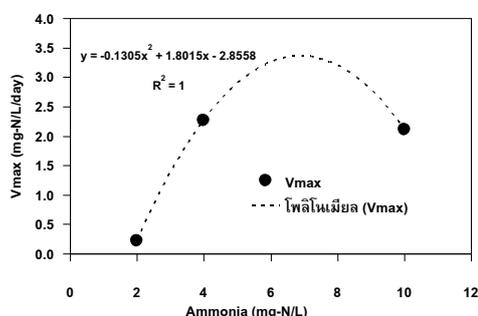


Figure 3 Maximum ammonia removal rates (V_{max}) of sun-dried soil from shrimp pond at various ammonia concentrations

สรุปผลการทดลอง

ดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการตากแห้งแล้วจะสามารถกระตุ้นให้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีประสิทธิภาพการทำงานได้โดยเติมน้ำและบ่มภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจึงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งผลจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าหลังจากการฝังหรือตากบ่อเลี้ยงกุ้ง ควรเติมน้ำและปรับค่าอัลคาไลน์ดีโดยการเติมปูนให้มีค่าในช่วง 100-130 มิลลิกรัม- CaCO_3 /ลิตร และมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5.09-6.04 มิลลิกรัม-ออกซิเจน/ลิตร และปล่อยไว้นานกว่า 30 วัน ดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีสภาพพร้อมใช้งาน

เมื่อดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งมีสภาพพร้อมใช้งานพบว่า การเติมแอมโมเนียให้เข้มข้น 4 มิลลิกรัม-

ไนโตรเจน/ลิตร จะมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียได้สูงสุด เท่ากับ 2.26 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน หรือ 36.76 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน แต่แนวโน้มจากการคำนวณพบว่าดินมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงสุด (54.24 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน) หากมีการเติมแอมโมเนีย 7 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และหากมีความเข้มข้นสูงกว่านี้ อัตราบำบัดแอมโมเนียสูงสุดจะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเตรียมบ่อดินพร้อมเลี้ยงกุ้งแล้วควรปล่อยให้บ่อเลี้ยงในความหนาแน่นที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปริมาณของเสียไนโตรเจนสูงเกินกว่าความสามารถในการบำบัดแอมโมเนียของดิน ซึ่งจากการทดลองครั้งพบว่าดินสามารถรองรับแอมโมเนียได้โดยมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียในช่วง 36.76-54.24 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ตารางเมตร/วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ที่สนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ รวมถึงสถานที่สำหรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Hargreaves JA. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture* 1998; 166: 181-212.
- Burford MA and Williams KC. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture* 2001; 198: 79-93.
- Kutako M, Limpiyakorn T, Luepromchai E, Powtongsook S, Menasveta P. Inorganic nitrogen conversion and changes of bacterial community in sediment from shrimp pond after methanol addition. *Journal of Applied Sciences* 2009; 9(16): 2907-2915.

4. Rink K van, Rivera G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. *Journal of Aquacultural Engineering* 1990; 9(4): 217-234.
5. Kutako M. Composition and role of microorganisms on nitrogen cycle in aquaculture pond. Dissertation, Program in Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, 2008.
6. Kutako M, Srisamrit B, Arnthong J, Powtongsook S, Menasveta P. Use of nitrification biofilter on nitrogen treatment in outdoor aquaculture tank. *Journal of Environmental Research* 2007; 29(2): 23-46.
7. Fiere N, Schimel JP. Effect of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. *Soil Biology & Biochemistry* 2002; 34: 777-787.
8. Franzluebbbers K, Weaver RW, Juo SR, Franzluebbbers, AJ. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biology & Biochemistry* 1994; 26: 1376-1387.
9. Strickland JD, Parson TR. A practical handbook of seawater analysis. Fishery Research Board of Canada. Ottawa. 1972. 310 p.
10. APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition, Maryland, USA: American Public Health Association. 1992.
11. Aslan S, Kapdan IK. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological engineering* 2006; 28: 64-70.
12. Kaplan D, Wilhelm R, Abeliovich A. Interdependent environmental factors controlling nitrification in waters. *Water Science and Technology* 2000; 42(1-2): 167-172.
13. Jensen K., Revsbech NP, Nielsen IP. Microscales distribution of nitrification activity in sediment determined with a Shielded Microsensor for nitrate. *Applied and Environmental Microbiology* 1993; 59(3): 3287.
14. Riise JC, Roos N. Benthic metabolism and the effects of bioturbation in a fertilized polyculture fish pond in northeast Thailand. *Aquaculture* 1997; 150: 45-62.
15. Kim DH, Matsuda O, Yamamoto T. Nitrification, denitrification and nitrate reduction rates in the sediment of Hiroshima Bay, Japan. *Journal of Oceanography* 1997; 53: 317-324.
16. Kirk GJD, Kronzucker HJ. The potential for nitrification and nitrite uptake in the rhizosphere of wetland plants: A Modelling study. *Annals of Botany* 2005; 96: 639-646.
17. Isnansetyo A, Thein ND, Seguchi M. Nitrification potential of mud sediment of the Ariake Sea tidal flat and the individual effect of temperature, pH, salinity and ammonia concentration on its nitrification rate. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 2011; 3(5): 587-599.