นวัตกรรมการใช้ *Bacillus subtilis* ในการลดมลพิษทางน้ำ : แนวทางสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนในระดับชุมชน

ศิรภัสสร คงสัน[1*] , กฤษณะ เอี่ยมเอกสุวรรณ[1] , รัชพล เส็งสาย[1], ศุภกร มหารัตนวงศ์[1],
พชร พุ่มพวง[1] และ วรรณนิภา ปานหนู[1]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*Kaewpetk86@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน และเพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียของอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละชนิด การดำเนินการวิจัยใช้รูปแบบการทดลอง โดยแบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ลงในน้ำเสียตัวอย่าง และทำการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำ ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Ammonia, NH_3) ในช่วงเวลาที่กำหนด

ผลการวิจัยพบว่า จุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* สามารถลดค่ามลพิษทางน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดค่าแอมโมเนียจาก 0.8 มก./ลิตร ลงเหลือ 0 มก./ลิตร ภายในระยะเวลา 2-3 วัน (ในกลุ่มที่ใช้อาหารเพาะเลี้ยงน้ำตาลโอทิ้ง) โดยลดถึงร้อยละ100 และสามารถควบคุมไม่ให้ค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นในระยะเวลาการทดลอง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการย่อยสลายของเสียและควบคุมสารมลพิษในน้ำพบว่าคุณภาพน้ำหลังการบำบัดมีแนวโน้มดีขึ้นอย่างชัดเจน มีความใสเพิ่มขึ้น กลิ่นลดลง และอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปในกิจกรรมระดับชุมชน เช่น การเกษตร

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ศักยภาพของนวัตกรรมชี้ให้เห็นว่า การใช้จุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* เป็นแนวทางที่มีต้นทุนต่ำ ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับชุมชน และมีศักยภาพในการสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางน้ำ ดังนั้น นวัตกรรมการใช้จุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำไปพัฒนาเป็นแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: นวัตกรรม จุลินทรีย์ Bacillus subtilis การบำบัดน้ำเสีย มลพิษทางน้ำ การจัดการสิ่งแวดล้อม

Innovation in the Application of *Bacillus subtilis* for Water Pollution Reduction: A Pathway Toward Sustainable Environmental Management at the Community Level

Siraphatsorn Kongsun[1*], Krisana Iameaksuwan[1], Ratchaphon Sangsai[1], Suphakorn Maharatthanawong[1], Phachara Phumphuang[1] and Wonnipa Pannoo[1]

[1]Nakhon Pathom Rajabhat University Demonstration School, Nakhon Pathom Rajabhat University
*Kaewpetk86@gmail.com

Abstract

This experimental research studied the efficacy of *Bacillus subtilis* in reducing water pollution and improving water quality for community environmental health. The study utilized an experimental design, comparing a control group against an experimental group treated with *Bacillus subtilis* in wastewater samples. Ammonia and NH_3 levels were measured at specified intervals.

The results showed that *Bacillus subtilis* effectively reduced water pollution. Notably, the group supplemented with brown sugar as a culture medium achieved a 100% ammonia reduction, dropping from 0.8 mg/L to 0 mg/L within 2–3 days. The bacteria also prevented ammonia levels from increasing, underscoring their efficiency in decomposing waste and controlling pollutants. Post-treatment water showed distinct improvements, with increased clarity and reduced odor, making it suitable for community agriculture.

Analysis indicated that utilizing *Bacillus subtilis* is a low-cost, safe, and environmentally friendly approach, practical for community-level application. By mitigating water pollution health risks, this innovative application serves as an effective wastewater treatment alternative and a sustainable guideline for community environmental management.

Keywords: Innovation Bacillus subtilis Wastewater Treatment Water Pollution Environmental Management

1. บทนำ

ที่มาและความสำคัญของผลงานวิจัย

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำถือเป็นวิถีชีวิตและแหล่งรายได้ที่สำคัญของเกษตรกรในหลายพื้นที่ รวมถึงชุมชนในจังหวัดนครปฐมและบริเวณใกล้เคียง อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักที่ชุมชนผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องเผชิญอยู่เสมอคือ ภาวะน้ำเน่าเสียในบ่อเลี้ยง ซึ่งเกิดจากการสะสมของเศษอาหารตกค้างและของเสียจากสัตว์น้ำ เมื่อสิ่งปฏิกูลเหล่านี้สะสมเป็นเวลานาน จะส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) ในน้ำพุ่งสูงเกินค่ามาตรฐาน (0.05 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในบ่อ ในแหล่งน้ำสะอาดตามธรรมชาติทั่วไป มักพบปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำมากหรือไม่เกินค่ามาตรฐาน และมักพบจุลินทรีย์

Bacillus subtilis ปะปนอยู่เพียงเล็กน้อยประมาณ 10^2 ถึง 10^3 CFU/mL ซึ่งไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารปฏิกูลได้อย่างรวดเร็ว [12][13] ส่งผลให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด อ่อนแอ และตายลงในที่สุด ปรากฏการณ์นี้ไม่เพียงแต่ทำลายสิ่งแวดล้อมในชุมชน แต่ยังสร้างความสูญเสียทางเศรษฐกิจและทำให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [1][4]

ที่ผ่านมา มีการส่งเสริมให้เกษตรกรนำแนวทางการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment) โดยใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus subtilis* มาใช้ในบ่อเลี้ยงของชุมชน ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้มีจุดเด่นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลดแอมโมเนีย และทนทานต่อสภาพแวดล้อม [2][8][11][12][13] แต่จากการลงพื้นที่และศึกษาบริบทการใช้งานจริงพบว่าเกษตรกรในชุมชนมักนิยมใช้อาหารโปรตีนสูง (เช่น อาหารกุ้ง) เป็นอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งมีข้อจำกัดสำคัญคือ สารอาหารจำพวกโปรตีนที่หลงเหลือจากการบริโภคของจุลินทรีย์จะเกิดการเน่าเสียซ้ำซ้อน กกกลายเป็นผลกระทบย้อนกลับ (Feedback effect) ที่สร้างแอมโมเนียกลับคืนสู่แหล่งน้ำในระยะยาว [5][10]

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในระดับพื้นที่ คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน โดยมุ่งเน้นการค้นหาวัตถุดิบทางเลือกที่เป็นแหล่งคาร์บอนสะอาด หาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีราคาถูก เช่น "น้ำตาลโอทิ้ง" (น้ำตาลทรายแดง) หรือ "สับปะรด" เพื่อนำมาทดแทนอาหารโปรตีนสูง การศึกษานี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียของจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* เมื่อทำงานร่วมกับอาหารเพาะเลี้ยงชนิดต่างๆ เพื่อเป็นนวัตกรรมทางเลือกที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ แก้ปัญหาการเน่าเสียซ้ำซ้อน ประหยัดต้นทุน และนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้อย่างยั่งยืน

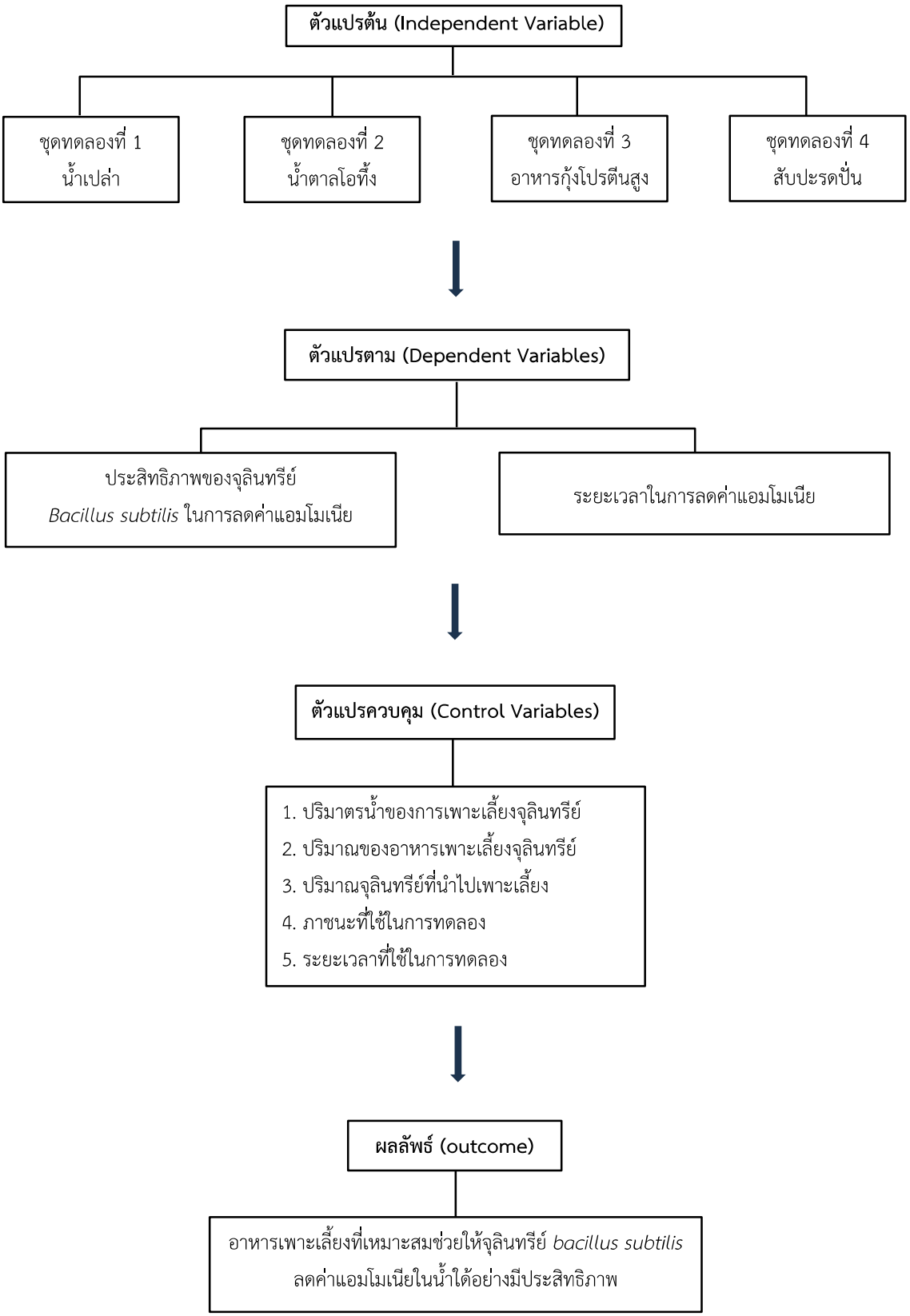
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2.2 เพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียของอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละชนิด

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง นวัตกรรมการใช้ *Bacillus subtilis* ในการลดมลพิษทางน้ำ : แนวทางสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนในระดับชุมชน มีพื้นฐานแนวคิดจากหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ (Biological Wastewater Treatment) โดย *Bacillus subtilis* เป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนีย และส่งเสริมสมดุลของระบบนิเวศทางน้ำ โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน และเพื่อศึกษาว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียของอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารควบคุมคุณภาพน้ำ

ทำการเตรียมน้ำสะอาดปริมาณ 400 มิลลิลิตร บรรจุลงในบีกเกอร์จำนวน 4 ใบ เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำที่ต้องการบำบัด โดยกำหนดให้บีกเกอร์แต่ละใบได้รับสารอาหารเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน (Treatment) เพื่อเปรียบเทียบผล

4.2 การกำหนดชุดการทดลองและอาหารเพาะเลี้ยง (Experimental Treatments)

ทำการเติมอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ลงในบีกเกอร์ตามที่กำหนดไว้ ดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 : บีกเกอร์ที่ 1 บรรจุน้ำสะอาดโดยไม่เติมสารอาหารเป็นชุดทดลองควบคุม (Control Group)

ชุดทดลองที่ 2 : บีกเกอร์ที่ 2 เติม "น้ำตาลโอทิ้ง" (น้ำตาลทรายแดง) ปริมาณ 30 กรัม

ชุดทดลองที่ 3 : บีกเกอร์ที่ 3 เติมอาหารกุ้งโปรตีนสูง ปริมาณ 30 กรัม

ชุดทดลองที่ 4 : บีกเกอร์ที่ 4 เติมสับปะรดปั่นละเอียด ปริมาณ 30 กรัม

4.3 การกระตุ้นการทำงานด้วยจุลินทรีย์ (Microbial Inoculation)

ทำการเติมจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ลงในบีกเกอร์ทั้ง 4 ใบ ใบละ 15 กรัม จากนั้นใช้แท่งแก้วคนสารให้ส่วนผสมของอาหารและจุลินทรีย์ละลายเข้ากับน้ำอย่างทั่วถึง [2][5][7] เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงแหล่งพลังงานและเริ่มกระบวนการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.4 การเพาะเลี้ยงและควบคุมสภาวะการทดลอง (Cultivation Process)

หลังจากเพาะเลี้ยงครบ 5 วัน ให้นำน้ำเสียในปริมาณ 400 มิลลิลิตร เทลงในขวดพลาสติก นำส่วนผสมจากบีกเกอร์แต่ละใบเทลงในขวดพลาสติก 40 มิลลิลิตร แยกตามประเภทของอาหารเพาะเลี้ยงโดยมีการระบุชื่อชุดการทดลองอย่างชัดเจน

4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ผล (Data Collection and Analysis)

ดำเนินการติดตามผลการทดลองโดยการตรวจวัดค่าแอมโมเนียในแต่ละชุดการทดลองอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนด นำข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ สรุปผลเชิงเปรียบเทียบเพื่อหาอาหารเพาะเลี้ยงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าแอมโมเนีย และจัดทำรายงานผลการศึกษาในรูปแบบการพรรณนาวิเคราะห์ควบคู่กับการนำเสนอข้อมูลทางสถิติและการเปรียบเทียบเชิงตารางข้อมูลต่อไป

4.6 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยและการเก็บข้อมูล

การวัดค่าแอมโมเนียใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำ (Ammonia Test Kit) ที่ได้มาตรฐาน โดยมีการเทียบสีตามคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการทดลองและตรวจวัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง (Triplicate) ในแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เพื่อให้ผลการวิจัยมีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือทางสถิติ

5. สรุปผลและอภิปราย

5.1 จากการศึกษาอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

จากการทดลอง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ น้ำตาลโอทิ้ง อาหารกุ้งโปรตีนสูง สับปะรด และน้ำเปล่า พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ “น้ำตาลโอทิ้ง” โดยสามารถลดค่าแอมโมเนียในน้ำได้มากที่สุดและมีความยั่งยืนกว่าตัวแปรอื่น ๆ กล่าวคือ สามารถลดค่าแอมโมเนียจาก 0.8 มก./ลิตร ลดลงจนถึง 0 มก./ลิตร โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่าแอมโมเนียหลังจากนั้น ดังผลการทดลองที่ปรากฏในตาราง

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำ โดยอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายของเสียและควบคุมปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน สอดคล้องกับผมการทดลอง[11][12][13]

5.2. จากการศึกษาอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียของอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละชนิด

จากการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ น้ำตาลโอทิ้ง อาหารกุ้งโปรตีนสูง สับปะรด และน้ำเปล่า พบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่สามารถลดค่าแอมโมเนียได้อย่างยั่งยืนและใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด คือ “น้ำตาลโอทิ้ง” โดยสามารถลดค่าแอมโมเนียลงเหลือ 0 มก./ลิตร ได้ภายในระยะเวลาเพียง 3 วัน และสามารถคงค่าแอมโมเนียให้อยู่ในระดับเดิมได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีผลต่อระยะเวลาในการลดค่าแอมโมเนียในน้ำโดยอาหารเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการลดค่าแอมโมเนียแตกต่างกันตามระยะเวลาการทดลองในช่วงวันที่ 1–5 หลังเติมจุลินทรีย์ [5]

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองตลอด 5 วันของการทดลอง

ชนิดของอาหารเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์	ค่าแอมโมเนีย มก/ลิตร				
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
น้ำเปล่า	0.8	0.8 ± 0.17	0.73 ± 0.11	0.6	0.5
น้ำตาลโอทิ้ง	0.8	0.1	0	0	0
อาหารกุ้ง	0.8	0.53 ± 0.30	2.13 ± 1.44	2.83 ± 2.02	2.83 ± 2.02
สับปะรด	0.8	0.36 ± 0.28	0.23	0.2	0

6. ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

6.1. ควรทดลองกับแหล่งน้ำเสียที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา น้ำเสียจากครัวเรือน หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

6.2. ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH และปริมาณออกซิเจนในน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

6.3. ควรส่งเสริมการนำจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการน้ำเสียที่ประหยัด ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Department of Fisheries. (2025).Water quality management in aquaculture. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20250114143712_1_file.pdf (In Thai)

[2] ScienceDirect. (2020). Biological treatment and microbial applications in wastewater management. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513420305937

[3] Prince of Songkla University. (2019). The use of oxygen and ozone for water qualityimprovement. https://natres.psu.ac.th/rise/research-office/wp-content/uploads/2024/04/2019_10_ozone.pdf (In Thai)

[4] Department of Fisheries. (2021). Guidelines for water quality control in aquaculture systems. https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20210129140523_1_file.pdf

[5] Keeravit Khomsan. (2017). The use of microorganisms for waste and ammonia reduction in aquaculture systems, Kasetsart Journal https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=13_150_60_ Keeravit.pdf&id=3317&keeptrack=3(In Thai)

[6] Agricultural Research Development Agency (Public Organization). (n.d.). Wastewater management and the use of microorganisms for the environment. https://hectortarr.arda.or.th/api/uploaded_file/hJejWZhcSW6ExQHKxo9D0 (In Thai)

[7] Pawena Limpiteeprakan and Phattraporn Phothilaek. (2019). Efficiency of organic waste effective microorganisms (EM) balls in wastewater treatment in Ubon Ratchathani province. Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, 21(2), 137-145. (In Thai)

[8] Sungsirin, N. (2024). Application of microorganisms in wastewater treatment systems. International Journal of Agricultural Technology, 20(1), 149–160.

[9] ScienceDirect. (2024). Sustainable microbial wastewater treatment technologies. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X24000987

[10] ScienceDirect. (2021). Environmental impacts and biological wastewater treatment approas. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521017380

[11] Maytiya Konkit, Yanika Wacharatewinkul, Wasana Naiumsawang, Wanatchaporn Boontham, Kanya Sornsanit, Kroekkai Janngam, Thongchai Srimuang, and Wasu Pathom-aree. (2025). Isolation and identification of bacteria from wastewater collected in Nakhon Pathom province, Thailand, and evaluation of amylase, protease, and lipase production. Chiang Mai Journal of Science, 52(4), e2025051. https://doi.org/10.12982/CMJS.2025.051

[12] Kanyarat Suntra. (2025). Selection of indigenous microorganisms (Bacillus spp.) from marine shrimp farms to promote and develop occupations of microorganism production groups towards sustainable shrimp farmers. Department of Fisheries, https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20250108153832_1_file.pdf

[13] Weiming Liu, Xiaolong Bo, Yanhao Cao, Jianchun Xiao, Run Zhang, Hongli Liu, Defang Chen, Yi Geng, Ping Ouyang, and Xiaoli Huang. (2025). Dose–dependent effect of Bacillus subtilis on aquaculture pond ecosystems. Research Square, https://assets-eu.researchsquare.com/files/rs-8258694/v1_covered_8a5ac725-b213-47dc-bea8-364e321c91a5.pdf?c=1774282151

[14] United Nations Statistics Division. (2024). The Sustainable Development Goals Report 2024: Goal 6 - Clean Water and Sanitation (Extended Report). United Nations. https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/extended-report/Extended-Report_Goal-6.pdf