



Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology



Volume 17, Issue 2, July-December 2025, Pages 1 – 15 ISSN 2985-2641 (Online)

Research Article

ประสิทธิภาพของระบบพืชชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ Effectively of Construction Wetland in Laboratory Science Wastewater Treatment

ปริญญ มุลสิน¹, กรรณิการ์ พุ่มทอง², ประพันธ์ ไตรยสุทธิ์¹, ปรีชา มุลสิน³, วรพล สุรพัฒน์⁴, นพพร อำนาจบุตดี⁵,
วัฒนาชัย มาลัย⁶, ยุภาพร อำนาจ^{6*}

Parinya Moonsin¹, Kannika Phumthong², Prapun Traiyasut¹, Preecha Moonsin³, Vorapon Surapat⁴,
Nopporn Amnatbuddee⁵, Wattanachai Malai⁶, Yupaporn Amnath^{6*}

¹สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

¹Biology Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

²คณะแพทย์แผนไทยและแพทย์ทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

²Faculty of Thai Traditional Medicine and Alternative Medicine, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

³สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

³Chemistry Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

⁴สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

⁴Microbiology Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

⁵สาขาวิชาโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

⁵Civil Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

⁶สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

⁶Environmental Science Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University.

*Corresponding author, e-mail: ayupaporn@gmail.com

Received: 12 May 2024; Revised: 27 May 2025; Accepted: 30 May 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบพืชชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี โดยสร้างระบบบำบัดในบ่อรูปวงรีขนาด $0.89 \times 1.18 \times 0.3$ เมตร จำนวน 12 บ่อ ปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ฤๅษี พุทธรักษา และบัวแดง ภายใต้หลักการ

กักเก็บน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ pH ของแข็งแขวนลอย BOD COD แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสรวม และโครเมียม โดยใช้สถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ผลการศึกษาพบว่า บ่อทดลองที่ปลูกธูปฤๅษี พุทธรักษาและบัวแดง มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งสูงกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชชนิดของพืชที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดีและฟอสฟอรัสทั้งหมดแตกต่างกัน ผลการทดสอบทางสถิติการบำบัดซีโอดีมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งพุทธรักษามีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด คือ การบำบัดบีโอดี 92.41% ของแข็งแขวนลอย 91.23% ซีโอดี 89.62% แอมโมเนีย 69.52% และฟอสฟอรัสทั้งหมด 89.85% ตามลำดับ ส่วนโครเมียมตรวจไม่พบในทุกหน่วยทดลอง ผลการศึกษาโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการ; ธูปฤๅษี; บัวแดง; พืชชุ่มน้ำเทียม; พุทธรักษา

Abstract

This study aimed to determine the efficiency of wastewater treatment using a constructed wetland system. The research focused on wastewater from the Environmental Science analysis laboratory, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University. The artificial wetland system was designed with three plant species: *Typha angustifolia* Linn, *Canna Russian Red*, and red lotus (*Nymphaea* sp.). The system consisted of 12 oval-shaped ponds, each measuring $0.89 \times 1.18 \times 0.3 \text{ m}^3$. The treatment process followed a cycle of water retention for 5 days, followed by a 2-day drying period. Key water quality parameters, including pH, suspended solids, biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), ammonia, total phosphorus, and chromium were analyzed. Statistical analyses, including percentage, mean, and one-way ANOVA, were employed. Results showed that experimental ponds with the plants exhibited higher wastewater treatment than that of control ponds without plants. Differences in plant species influenced treatment efficiency for suspended solids, BOD, COD, and total phosphorus. The statistical analysis indicated a significant difference ($p < 0.05$) in the reduction of COD across the different treatments. *Canna Russian Red* demonstrated the highest treatment efficiency, achieving BOD removal of 92.41%, suspended solids removal of 91.23%, COD removal of 89.62%, ammonia removal of 69.52%, and total phosphorus removal of 89.85%. Chromium was not detected in any treatment units. Overall, no statistically significant differences in treatment efficacy were observed at the 95% confidence level.

Keywords: laboratory wastewater treatment; *Typha angustifolia* Linn; red lotus; construction wetland; *Canna Russian Red*

บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีมีกิจกรรมทางวิชาการที่หลากหลายมีการเรียน-การสอน วิจัย และเผยแพร่ความรู้สู่ชุมชน ทั้งในระดับทฤษฎีและภาคปฏิบัติของสถาบันที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ซึ่งไม่ได้จำกัดเฉพาะคณะวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่คณะที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิทยาศาสตร์ประยุกต์ และวิทยาศาสตร์สุขภาพ

มีการดำเนินงานเกี่ยวกับห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ทดลอง ค้นคว้าและวิจัย ซึ่งมักใช้สารเคมีต่าง ๆ ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นอันตรายและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการได้รับการดูแลอย่างเป็นระบบน้อย ขาดการควบคุมที่ชัดเจน ในเรื่องการจัดการของเสียจากเจ้าหน้าที่และนักศึกษา ทำให้เกิดการทิ้งของเสียที่อาจเป็นพิษต่อ สิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เช่น การทิ้งของเสียลงอ่างล้างและท่อระบายน้ำ ซึ่งสารบางชนิดสามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดปัญหาที่ต้องแก้ไข [1] การวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการกำจัดและการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยการศึกษาของ Sharma และ Anamika พบว่า มหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาผลิตของเสียในปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็น ของแข็ง ของเหลว หรือขยะอันตราย หากไม่บริหารจัดการอย่างเหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาการสะสมของขยะและเกิด มลพิษแพร่กระจายต่อสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม การสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับแนวทางการจัดการของเสียที่เหมาะสม สามารถเปิดโอกาสให้นักศึกษาและบุคลากรนำแนวคิดนวัตกรรมมาใช้ในการจัดการของเสียได้ [2] นุชนาฏ นิลอ และคณะ พบว่า น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมควรผ่านการบำบัดเบื้องต้นก่อนปล่อยออกนอกระบบ เพื่อช่วยลดปริมาณสารเคมี ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [3] งานวิจัยของ Coundoul et al. [4] ระบุว่า การบำบัดน้ำเสียในโรงเรียนสามารถลดการปล่อย สารพิษจากห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งส่งเสริมการจัดการของเสียอย่างยั่งยืนและปลอดภัย

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มีน้ำทิ้งจากการตรวจ วิเคราะห์คุณภาพน้ำ การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการเรียน-การสอน การวิจัย และบริการชุมชน เช่น การวิเคราะห์น้ำและน้ำทิ้งโดยมีพารามิเตอร์ที่ต้องตรวจวัดพื้นฐาน ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณบีโอดี ซีโอดี น้ำมัน และไขมัน ทีเคเอ็น ไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย ความกระด้าง เป็นต้น รวมทั้งปฏิบัติการทางจุลชีววิทยา การล้างอุปกรณ์เครื่องแก้วและน้ำสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือถูกทิ้งลงในอ่างล้างและท่อระบายน้ำ ของเสียจาก ห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย สารเคมีชนิดต่าง ๆ ทั้งของเหลว ของแข็งและก๊าซ ซึ่งของเสียจากห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ที่เป็น ของเหลวจะถูกปล่อยไปยังระบบรวบรวมน้ำทิ้งรวมของอาคาร บ่อเกรอะ ลงสู่บ่อพักหรือรางระบายน้ำสาธารณะโดยตรง ส่วนของแข็งจะถูกทิ้งรวมกับขยะอื่น ๆ ของเทศบาล ซึ่งการจัดการของเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการนี้อาจมีความ เหมาะสมไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาสามารถปฏิบัติได้โดยวิธีการกำจัดสารเคมีเบื้องต้น สามารถทำได้ก่อนปล่อย ลงสู่ธรรมชาติ ดังนั้น น้ำทิ้งที่เกิดจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่เจือปนสารเคมีหรือจุลินทรีย์ อาจเป็นแหล่งก่อ ปัญหามลพิษในอนาคตได้ ผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดในการลดสารมลพิษดังกล่าว โดยใช้วิธีทางชีวเคมีหรือทำให้สารเคมีบางชนิด เปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปสารประกอบชนิดอื่นลดความเป็นพิษลง การบำบัดน้ำทิ้งแบบพื้นที่พืชชุ่มน้ำเทียม (Constructed Wetland for Wastewater Treatment) คือ ระบบพืชชุ่มน้ำเทียมที่สร้างให้คล้ายคลึงกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำในธรรมชาติใช้ในการ บำบัดน้ำทิ้งช่วยให้น้ำมีคุณภาพตามที่กฎหมายกำหนด โครงสร้างระบบบำบัดพืชชุ่มน้ำเทียมมีลักษณะเป็นแอ่งหรือบึงที่มี น้ำขัง ประกอบด้วย พืช วัสดุตัวกลางจำพวก ดิน หิน หรือกรวด และจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมมาช่วยบำบัดน้ำทิ้งและช่วยปรับ สภาพน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีขึ้นโดยไม่ต้องใช้สารเคมีและเทคโนโลยีเครื่องจักรกล อาศัยพืชและคุณสมบัติเฉพาะของพืชช่วยกรอง หรือฟอกน้ำให้สะอาดขึ้น เป็นผลจากพืชสามารถดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำทิ้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน นอกจากนี้พืชกรองน้ำทิ้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ ช่วยลดต้นทุนการบำบัดน้ำทิ้งที่ต้อง ลงทุนสูงอย่างในปัจจุบัน เทคโนโลยีตามแนวพระราชดำรินี้ได้รับการศึกษาวิจัยและพัฒนาโดยโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ การบำบัดน้ำทิ้งด้วยพืชเป็นอีกเทคโนโลยีที่ใช้ธรรมชาติช่วยธรรมชาติ ด้วยการกักน้ำไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งอาศัยการปลดปล่อยออกซิเจนของพืชจากการสังเคราะห์แสง การย่อยสลายทางชีวภาพ จากจุลินทรีย์ในดิน การดูดซึมแร่ธาตุของพืชเพื่อใช้ในการเติบโตรวมทั้งกรองสิ่งปนเปื้อน ในการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้พืชเพื่อแยก เอาสารมลพิษออกจากน้ำทิ้ง เป็นวิธีที่ประหยัดและเป็นระบบที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งที่ใช้ในปัจจุบันเพราะพืช น้ำ เช่น ธูปฤๅษี พุทธรักษาและบัวแดง เป็นพืชที่ขยายพันธุ์และเติบโตได้รวดเร็วและมีอัตราการดูดซับได้ค่อนข้างสูง

การวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทั้งโดยใช้พืชชุ่มน้ำเพื่อบำบัดน้ำทั้งจริงของห้องปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และศึกษาประสิทธิภาพของพืช 3 ชนิด คือ ธูปฤๅษี พุทธรักษาและบัวแดง ในระบบพื้นที่พืชชุ่มน้ำเทียมแบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Constructed Wetland; FWS) ด้วยระยะกักขังน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วันและใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งห้องปฏิบัติการให้ผ่านมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทั้งจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีบำบัดด้วยพืช 3 ชนิด คือ ธูปฤๅษี พุทธรักษา และบัวแดง

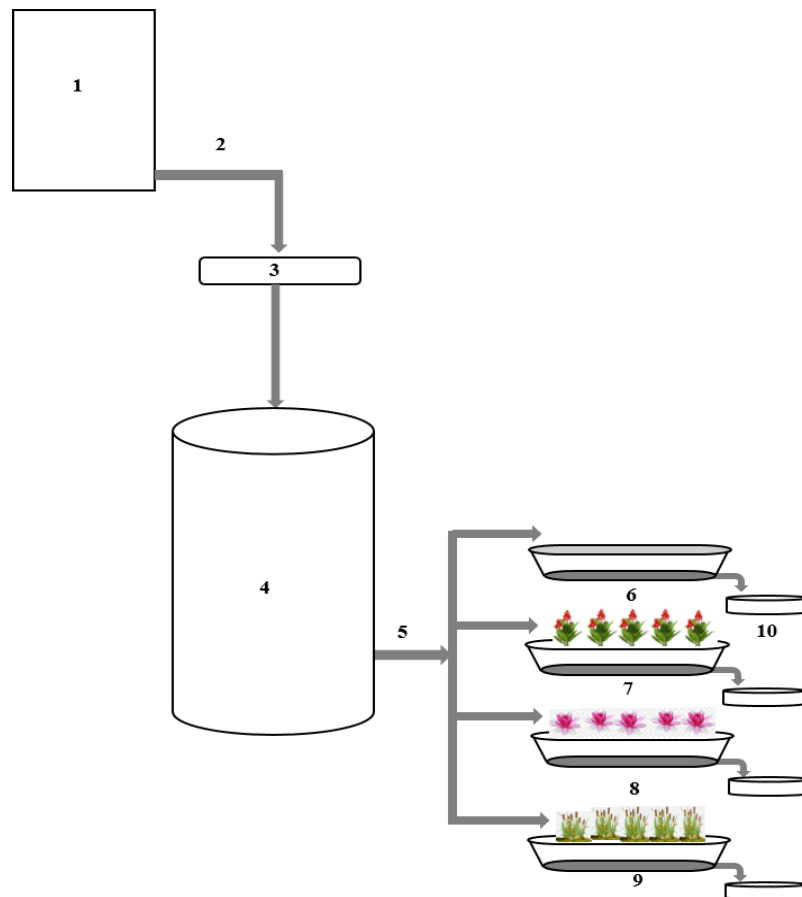
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแปลงทดลอง

การวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) ทำการวิจัยโดยรวมน้ำทั้งจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อมไว้จนถึงพักน้ำและทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งก่อนเข้าระบบฟาร์มิเตอร์ คือ พีเอช การนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมดและโครเมียม ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of water and Wastewater [5] ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ระบบบำบัดน้ำทั้งเป็นระบบพืชชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Constructed Wetland; FWS) [6] ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน ปลูกต้นธูปฤๅษี (*Thypha angustifolia* Linn) พุทธรักษา (*Canna Russian Red*) บัวแดง (Red Lotus) บ่อละ 6 ต้น และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืชใช้ตัวกลางเป็นหินคลุกขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว รองพื้นก้นบ่อและเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วบ่อหนา 15 เซนติเมตร ใส่ดินนาผสมเกลบดำอัตราส่วนดินนา 3 ส่วน:เกลบดำ 1 ส่วน ลงในบ่อและเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วบ่อให้หนา 20 เซนติเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีจำนวนบ่อทดลองทั้งหมด 9 บ่อ (experimental unit) และบ่อควบคุม 3 บ่อ (Control unit)

2. การปลูกพืชและอนุบาลพืช

การปลูกพืช เติมน้ำใส่ระบบพืชชุ่มน้ำเทียม และกักขังน้ำไว้นาน 7 วัน เพื่อให้เนื้อดินในแปลงทดลองเกิดความชุ่มชื้นและนํ้าจะได้ปลูกพืชได้ง่ายขึ้น ตัดท่อนพันธุ์พุทธรักษาและธูปฤๅษีมีความสูงเฉลี่ย 30 เซนติเมตร นำไปเพาะชำลงในถุงดำที่ภายในบรรจุทราย และรดน้ำด้วยน้ำประปา เพื่อให้หน่อพันธุ์ใหม่แตก ใช้เวลาประมาณ 30 วัน จากนั้นจึงเลือกหน่อพันธุ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันที่สุดปลูกในบ่อ สำหรับบัวแดงเลือกซื้อต้นพันธุ์มาจากร้านขายไม้ประดับเลือกต้นพันธุ์ที่มีเส้นรอบทรงพุ่ม 30 เซนติเมตร นำมาอนุบาลในบ่อทดลองด้วยน้ำประปาเป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อปรับสภาพธูปฤๅษี พุทธรักษาและบัวแดงให้คุ้นชินกับน้ำในบ่อทดลองก่อนการทดลอง นำธูปฤๅษี พุทธรักษา และบัวแดง ลงบ่อทดลองที่สร้างขึ้นโดยมีระยะห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 25 เซนติเมตร ความหนาแน่น 6 ต้นต่อบ่อ จากการศึกษาของพัฒน์พงษ์ พองเพชร และคณะ [7] เสาวรส เลื่องสุนทร [1] กล่าวว่า ความหนาแน่นของพืชอย่างน้อยควรเป็น 5-10 rhizomes/m² อนุบาลพืชด้วยน้ำประปาเพื่อให้พืชปรับตัวได้นาน 8 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดอนุบาลต้นกล้าระบายน้ำออกจากบ่อทดลองทุกบ่อ จากนั้นปล่อยน้ำจากถังพักน้ำแบ่งเข้าสู่บ่อทดลองโดยการเปิดวาล์วน้ำทั้งจะไหลมาตามท่อเข้าสู่บ่อทดลองแบบเทกะ (Batch test) เติมน้ำทั้งให้มีระดับความสูงจากผิวดินชั้นบน 30 เซนติเมตร กำหนดระยะเวลาการกักน้ำ 5 วัน และปล่อยให้แห้ง 2 วัน ทำการทดลองตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2566 แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงแปลงทดลองระบบพืชชุ่มน้ำเทียม (1) ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (2) น้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (3) pH control unit (4) บ่อพักน้ำทิ้ง (5) น้ำทิ้งเข้าระบบบำบัด (6) บ่อควบคุม (7) พืชรักษา (8) บัวแดง (9) ธูปฤๅษี (10) น้ำทิ้งออกจากระบบบำบัด

3. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากถังพักน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบในวันแรกของการทดลอง จำนวน 1 ตัวอย่างต่อรอบ เพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า pH ของแข็งแขวนลอย BOD COD แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมดและโครเมียม เก็บตัวอย่างน้ำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบในวันสุดท้ายของรอบกักพักน้ำ 5 วัน และสลับถัง 2 วัน รวมถึงตัวอย่างจากบ่อควบคุม จำนวน 3 ตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบพืชชุ่มน้ำเทียม ศึกษาเพื่อคัดเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย โดยรวบรวมข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ของพืชและระบบ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติของน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ

น้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบเป็นน้ำจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัด โดยคุณลักษณะของน้ำเสียดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 1 จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 2.34 – 6.89 บีโอดี 40.67 – 120.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 173.00 – 307.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 170.33 – 290.67 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 7.47-12.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด 1.52– 1.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และโครเมียม 0.002 – 0.068 มิลลิกรัมต่อลิตร ลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งที่เข้าระบบ พบว่า มีสีเหลืองขุ่น มีสารแขวนลอยเล็กน้อย ไม่มีกลิ่นเหม็นของสารเคมี เมื่อผ่านระบบพื้นที่พืชชุ่มน้ำเทียมแบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) ระยะเวลา กักพักน้ำ 5 วัน ปล่อยแห้ง 2 วัน ผลการบำบัดด้วยพืชแฉะดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการก่อนเข้าระบบ

พารามิเตอร์	หน่วย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐาน*
1. pH		2.34 - 6.89	5.68	5.5 - 9
2. BOD	mg/L	40.67 - 120.00	76.83	< 20
3. DO	mg/L	5.93 - 8.37	6.91	
4. COD	mg/L	1,173.33 - 2,346.67	1,573.33	< 120
5. TSS	mg/L	186.33 - 290.67	206.58	< 50
6. TP	mg/L	1.52 - 1.67	1.71	
7. NH ₃	mg/L	7.47 - 12.08	9.97	
8. Cr	mg/L	0.002 - 0.068	0.025	0.05

*กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ประกาศ ณ วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2560)

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งเฉลี่ยของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ผ่านการบำบัดด้วยระบบพื้นที่พืชชุ่มน้ำเทียม

แปลงทดสอบ	pH	TSS (mg/L)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	Cr (mg/L)
บ่อควบคุม (Control)	6.43	81.83	6.50	25.00	773.33	0.78	9.81	0.005
ธูปฤๅษี (<i>Thypha angustifolia</i> Linn.)	7.32	86.64	6.46	12.42	259.00	0.33	5.26	ND**
พุทธรักษา (<i>Canna Russian Red.</i>)	7.05	50.74	5.84	6.08	163.33	0.17	3.03	ND
บัวแดง (Red lotus)	7.12	82.45	6.14	13.17	206.67	0.23	2.24	ND
มาตรฐาน*	5-9	< 50		<20	<120			<0.05

*กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ประกาศ ณ วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2560)

**ND = ตรวจไม่พบด้วยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

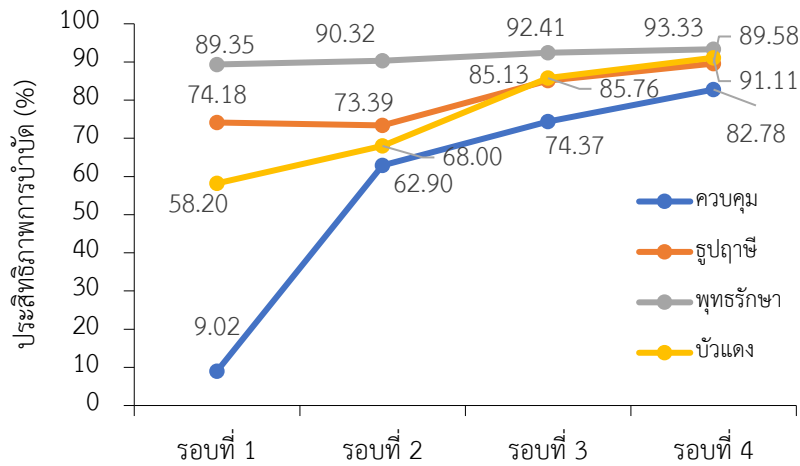
2. ลักษณะทั่วไปของพืช

ธูปฤๅษี มีความสูงของลำต้น จำนวนใบเพิ่มขึ้น การแตกหน่อ และการขยายของรากฝอยอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงเริ่มต้นการทดลอง ต้นธูปฤๅษีมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 40 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ย 210 เซนติเมตรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนจำนวนใบเริ่มต้นอยู่ที่ 2 ถึง 4 ใบ และเพิ่มขึ้นเป็น 8 ถึง 10 ใบเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 12 ของการเจริญเติบโต พบว่ามีช่อดอกเป็นรูปกลมยาวคล้ายรูป เมื่อแก่จัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม แสดงให้เห็นว่าธูปฤๅษีสามารถเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ทำการวิจัยน้ำในแปลงทดลองขุน

พุทธรักษา พบว่า มีความสูงของลำต้นและจำนวนใบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความสูงช่วงเริ่มการทดลอง 10 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความสูงเฉลี่ย 100 เซนติเมตร มีการแตกไหลและต้นอ่อนเพิ่มขึ้น และมีการออกดอก สำหรับจำนวนใบเริ่มต้นการทดลองมีใบประมาณ 2-4 ใบ และเพิ่มขึ้นจำนวน 6-10 ใบ ภายหลังจากสิ้นสุดระยะการทดลองแสดงให้เห็นว่าพุทธรักษาสามารถเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ น้ำในแปลงทดลองใส

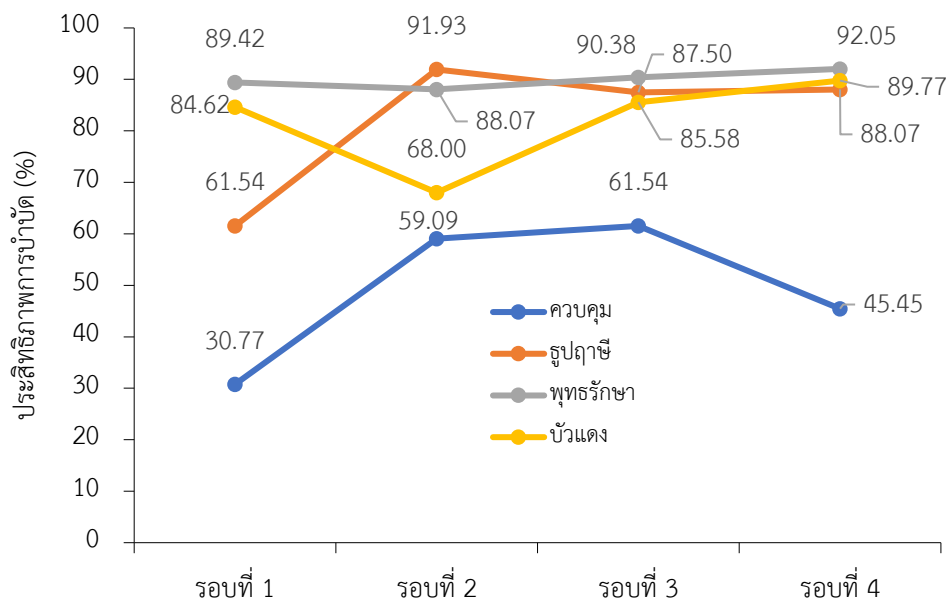
บัวแดง มีความสูง 10 เซนติเมตร ทรงพุ่มกว้าง 30 เซนติเมตร เมื่อเติมน้ำเข้าแปลงทดลอง พบว่า บัวแดงมีการเติบโตช้า จำนวนใบลดลงจาก 5-6 ใบ เป็น 2-3 ใบ เนื่องจากลักษณะของบัวแดงที่ แผ่ออกด้านกว้างไม่สูงมากนักเมื่อนำมาปลูกกลิ้งลงในดินประมาณ 3-5 เซนติเมตร และระดับน้ำในการทดลองสูง 15 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 15 ปรากฏว่าบัวแดงใบหายหมดเหลือเพียงหัวบัวและต้นอ่อน แสดงให้เห็นว่าอาหารสำหรับบัวแดงหมดไม่สามารถเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ น้ำในแปลงมีสีขุ่นเหลือง

ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี พบว่า บ่อปลูกพุทธรักษาสามารถบำบัดบีโอดีสูงสุด 95.05% (รอบที่ 4) รองลงมาคือ ธูปฤๅษี 91.93% (รอบที่ 2) บัวแดง 89.77% (รอบที่ 4) และบ่อควบคุมไม่มีพืช 82.78% (รอบที่ 4) ดังภาพที่ 2



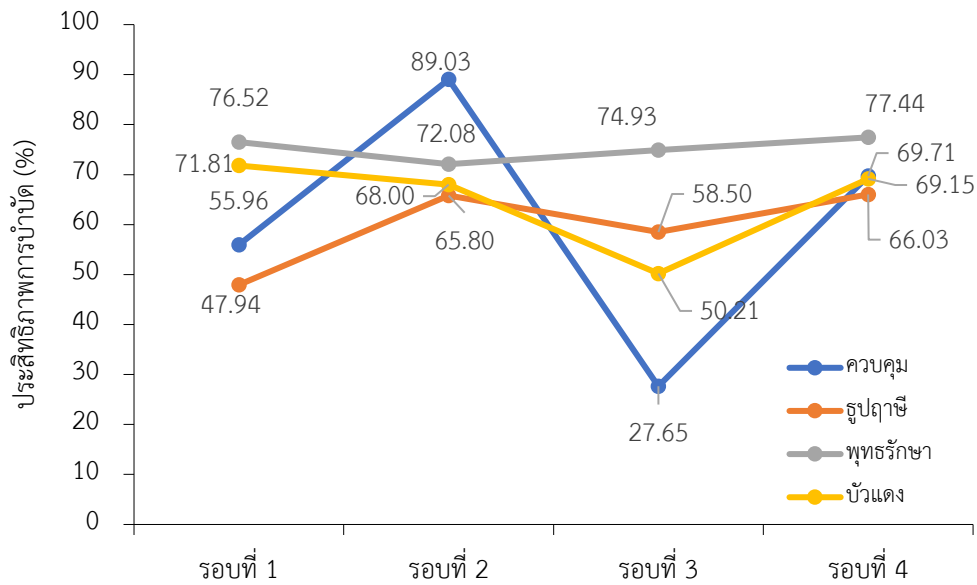
ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัด BOD เฉลี่ย

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี พบว่า บ่อปลูกพุทธรักษาให้ประสิทธิภาพสูงสุด 93.33% (รอบที่ 4) รองลงมาคือ บัวแดง 91.11% (รอบที่ 4) ฐปถาชี 89.58% (รอบที่ 4) และบ่อควบคุมไม่มีพืช 61.54% (รอบที่ 3) แสดงดังภาพที่ 3



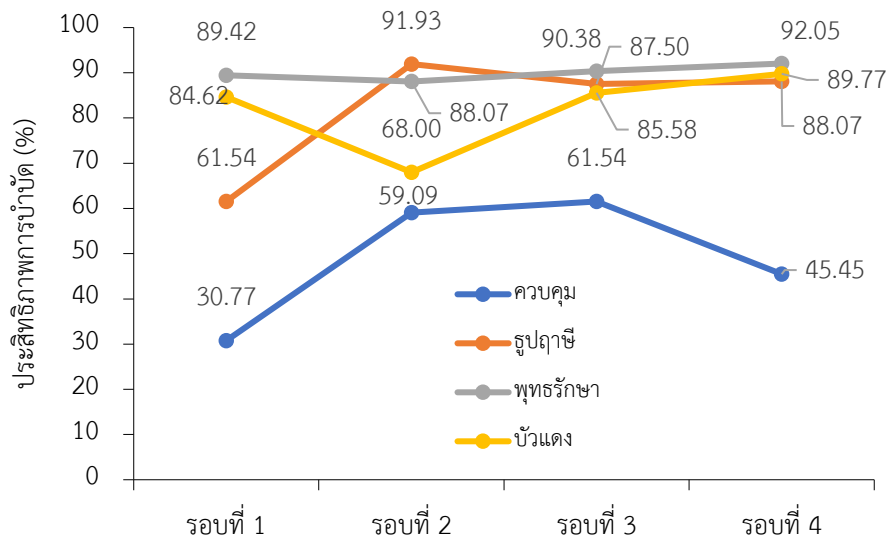
ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัด COD เฉลี่ย

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย พบว่า บ่อควบคุมที่ไม่มีพืชให้ประสิทธิภาพสูงสุด 89.03% (รอบที่ 2) รองลงมาคือ พุทธรักษา 77.44% (รอบที่ 4) บัวแดง 71.81% (รอบที่ 1) และฐปถาชี 66.03% (รอบที่ 4) ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4



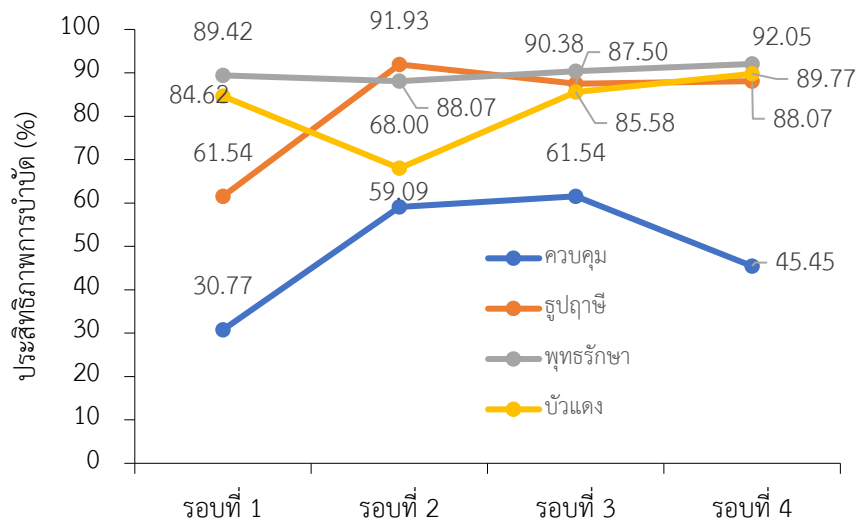
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เฉลี่ย

ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า พุทธรักษาให้ประสิทธิภาพสูงสุด 92.53% (รอบที่ 3) รองลงมาคือ บัวแดง 88.80% (รอบที่ 3) ระบุภาษี 81.31% (รอบที่ 3) และบ่อควบคุมไม่มีพืช 46.12% (รอบที่ 2) แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) เฉลี่ย

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเมื่อผ่านระบบพืชชุ่มน้ำเทียมแบบไหลผ่านลำต้นที่ระยะเวลาพักชั่งน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน พบว่า บัวแดงให้ประสิทธิภาพสูงสุด 94.31% รอบที่ 4 รองลงมาคือ พุทธรักษา 91.53% (รอบที่ 4) ระบุภาษี 86.60% (รอบที่ 4) และบ่อควบคุมไม่มีพืช 24.04% (รอบที่ 3) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัด $\text{NH}_3\text{-N}$ เฉลี่ย

ผลการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัด BOD, COD, TSS, TP และ $\text{NH}_3\text{-N}$ คุณลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเมื่อผ่านระบบพืชชุมชนน้ำเทียมแบบไหลผ่านผิวดิน พบว่า ชนิดของพืชมีผลต่อการลดปริมาณค่า BOD, COD, TSS, TP และ $\text{NH}_3\text{-N}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p\text{-value} < .05$ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแตกต่างคุณภาพน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ผ่านการบำบัดด้วยธูปฤาษี พุดธรรักษ์ และบัวแดง ด้วยระบบการกักพักน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน เฉลี่ย

Water quality	Analysis of wastewater quality					CV (%)	LSD 95%	F test
	Before trat	control	<i>Thypha angustifolia</i> Linn.	<i>Canna Russian</i> Red	Red lotus			
pH	5.68	6.43	7.32	7.05	6.82	1.40	0.14	ns
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	28.0	28.1	28.0	28.0	28.1	-	-	-
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	205.91	289.19	100.27	106.66	209.83	11.95	1,023.14	ns
TSS (mg/L)	206.58	81.83	86.64	50.74	82.45	12.67	143.29	ns
DO (mg/L)	6.91	6.50	6.46	5.84	6.14	6.30	4.45	*
BOD (mg/L)	76.83	25.00	12.42	6.08	13.17	10.00	1.47	*
COD (mg/L)	256.64	199.14	137.67	156.67	173.33	6.45	240.87	ns
TP (mg/L)	0.21	0.08	1.67	0.86	1.70	14.60	4.03	*
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	9.97	9.81	5.26	3.03	2.24	17.90	0.55	ns
Cr (mg/L)	0.025	0.005	0.00	0.00	0.00	-	-	ns

* = significant at $p\text{ value} \leq .05$ (significant difference)

ns = non-significant

สรุปและอภิปรายผล

การบำบัดน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ภายหลังการบำบัดด้วยพืช สรุปได้ว่า การบำบัดด้วยพุทธรักษา สีสแดง มีค่าแอมโมเนียลดลงมากที่สุดในรอบที่ 3-4 พุทธรักษาและบัวแดงมีประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนียและฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง ซึ่งเป็นระยะที่พืชมีการเติบโตเต็มที่จึงสามารถใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งได้สูง โดยพุทธรักษา มีประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการได้สูงสุดในรอบที่ 3 และ 4 โดยมีความแตกต่างกับน้ำทิ้งในบ่อที่ปลูกธูปฤๅษีและบ่อควบคุมทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) มีประสิทธิภาพการบำบัด 87.56% และ 80.0% ตามลำดับ โดยในรอบที่ 4 บัวแดงมีความสามารถในการลดฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งได้สูงสุดและมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ประสิทธิภาพบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 70.94% สอดคล้องกับเสาวรส เลื่องสุนทร และคณะ [1] ซึ่งการบำบัดน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการด้วยพืช คือ ธูปฤๅษี พุทธรักษาและบัวแดงที่ระยะเวลาพักน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน สัปดาห์ที่ 8 และ 12 พบว่า ลักษณะน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ 12.4-12.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 0.85-1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำทิ้งระบบนี้ใช้หลักการทำงานของระบบนิเวศดินมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งโดยอาศัยกระบวนการทางเคมีและชีววิทยาที่เกิดขึ้นสองแบบในการทดลองบำบัดน้ำทิ้ง เมื่อน้ำทิ้งไหลเข้าระบบ พื้นที่พืชชุ่มน้ำเทียมช่วงต้น สารอินทรีย์ที่ปนมาจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นบ่อ (settling and sedimentation) และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Aerobic or anaerobic biodegradation) สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำทิ้งจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำหรือชั้นหินและจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้จะได้รับออกซิเจนจากการซึมผ่านของอากาศจากผิวน้ำหรือลงมาจากชั้นวัสดุกรอง ขณะที่อีกส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำแม้จะมีปริมาณไม่มากนัก ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการบำบัดสารแขวนลอยจะถูกกรองออกและตกตะกอน ส่วนการกำจัดไนโตรเจนเกิดผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจะเกิดที่ชั้นดินส่วนพื้นบ่อและพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ นอกจากนี้ระบบพืชชุ่มน้ำเทียมสามารถใช้กำจัดโลหะหนัก (Heavy Metal) ได้ กล่าวคือ สภาพที่มีอากาศ (aerobic หรือ oxidative) เมื่อก่อนมีการขังน้ำและเมื่อระบายน้ำออกแล้วปล่อยให้ดินแห้งและสภาพที่ไร้อากาศ (anaerobic หรือ reductive) เมื่อมีการปล่อยน้ำเข้าแปลงแล้วขังน้ำไว้จะเกิดสภาพไร้อากาศ ทำให้เกิดการสะสมธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ และหากปล่อยให้อยู่ในสภาพที่ดึกขื้นที่นานขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีพเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่เติบโตในสภาพไร้อากาศ (obligated anaerobes) เช่น การทำนาจะมีการขังน้ำต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 60 วัน ประสิทธิภาพในการย่อยสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ในสภาพไร้อากาศนั้นต่ำกว่าของสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้อากาศ การขังน้ำทำให้เกิดสภาพไร้อากาศเพราะทันทีที่ดินมีน้ำขังจะเกิดการลดลงของก๊าซออกซิเจนในดินจนปราศจากก๊าซออกซิเจนในที่สุดเนื่องจากน้ำที่อุกกักขังในแปลงนาบริเวณหน้าดินจะป้องกันก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศไม่ให้ซึมผ่านลงไปดิน

พุทธรักษาและบัวแดงมีประสิทธิภาพบำบัดฟอสฟอรัสและแอมโมเนียสูงสุดที่ระยะเวลากักน้ำ 5 วัน สลับแห้ง 2 วัน ค่าเฉลี่ย 57.71% และ 47.63% ตามลำดับ ธูปฤๅษีมีประสิทธิภาพบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สัปดาห์ที่ 1 ค่าเฉลี่ย 87.59% และ 44.54% แตกต่างจากบ่อพุทธรักษาและบ่อควบคุม แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนียและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งมีค่าลดลงนั้น เนื่องจากพุทธรักษา บัวแดงและธูปฤๅษีมีการดูดซับสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ในการเติบโต ธาตุไนโตรเจนพืชได้รับจะทำให้พืชมีใบสีเขียว เนื่องจากไนโตรเจนในหมู่ฟังก์ชันเอมีน-เอไมด์เป็นส่วนประกอบของโปรตีน กรดอะมิโน คลอโรฟิลล์ และสารประกอบอื่น ๆ และพืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างพอเพียงจะมีระบบรากที่แข็งแรงกระจายอยู่ในดิน และเกิดไหลแผ่ขยายกว้างสามารถดึงดูดน้ำและแร่ธาตุได้ดี อีกทั้งจะเป็นการทำให้พืชออกดอกและผลที่สมบูรณ์ เช่น พุทธรักษาและบัวแดง สอดคล้องกับการศึกษาของพงษ์พวงเพชร และคณะ [7] พบว่า พุทธรักษาสามารถกำจัดบีโอดีและของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนต้นพุทธรักษามากขึ้น สามารถกำจัดบีโอดีได้ดีกว่าแปลงที่มีจำนวน

ต้นพุทธรักษาน้อยและแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยแปลงที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น/ตารางเมตร สามารถกำจัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และ TKN ได้สูงสุด 90.7%, 98.5%, 99.0% ตามลำดับ และแปลงปลูกพุทธรักษาเติบโตได้ในการทดลองมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50-60 เซนติเมตรและหลังการทดลอง 150-165 เซนติเมตร จำนวนใบช่วงเริ่มต้นมีประมาณ 3-4 ใบ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบเฉลี่ย 6-8 ใบ โดยพุทธรักษามีการเติบโตไม่แตกต่างกัน

การกำจัดไนเตรต และ BOD มีค่าแตกต่างกันตามชนิดพันธุ์พืช ความสามารถในการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน รวมทั้งการระเหยของแอมโมเนียขึ้นในระบบ ทำให้ค่าไนโตรเจนและบีโอดีของน้ำทิ้งลดลง ทำให้รากมีความยาวต่างกันชีวมวลของรากและโครงสร้างของรากและเหง้าส่งผลต่อการกำจัดซีโอดี แอมโมเนีย และฟอสฟอรัสที่ละลายทั้งหมดที่เกิดจากการลอยตัวโดยระบบราก พืชในพันธุ์พุทธรักษา และธูปฤๅษีมีราก fibril root [6][8] เกิดกลไก rhizodegradation จุลินทรีย์บริเวณรากมีบทบาทสำคัญต่ออัตราการกำจัดสารอาหาร แปลงทดลองเป็นแบบไร้อากาศในช่วงระยะเวลา 5 วันของการให้อาหาร และการทำให้เป็นธาตุไนโตรเจนเกิดกระบวนการจุลินทรีย์ที่สำคัญในระหว่างการเติบโตของพืช การผลิตแอมโมเนียมและการดูดซึมไนโตรเจน ประกอบด้วยกระบวนการภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (เช่น ระยะเวลาขังน้ำ 5 วัน) กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดภายใต้สภาวะใช้อากาศ (aerobic condition) (เช่น ระยะเวลาทำให้แห้ง 2 วัน) ซึ่งคาดว่าจะคงอยู่ติดกับรากพืชเนื่องจากการหลั่งของออกซิเจนและสารประกอบคาร์บอนเพื่อรองรับการเติบโตของจุลินทรีย์ [9] อัตราการดูดซึมแอมโมเนียมสูงกว่าอัตราการดูดซึมไนเตรตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความสัมพันธ์กับอัตราการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กิจกรรมของยูรีเอสและโปรตีเอส พืชและดินลดไนเตรตลง แต่ส่งผลให้ไนเตรตลดลงมากกว่าในกรณีของดินเพียงอย่างเดียว [8][10] ไนเตรตที่ถูกขนส่งในพลาสมา เมมเบรนของเซลล์รากและกิจกรรมของไนเตรตรีดักเตสถูกกระตุ้นโดยไนเตรตภายนอก เรียกว่า abiotic mechanism treating inorganic compound ของระบบ [7] เกิดกลไก Bio-denitrification cation และ Nitrification and plant uptake ขึ้นช่วยให้คุณภาพน้ำทิ้งมีคุณภาพดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ phosphate activity ยังมีอิทธิพลในสภาวะไร้อากาศ การบริโภคฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์ในส่วนแอโรบิกของไรโซสเฟียร์และการกำจัดฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์กับกิจกรรม phosphatase activity และกระบวนการ Microbes-Plant Uptake โดยจุลินทรีย์ (microbes) มีบทบาทช่วยให้พืชดูดซึมธาตุอาหารหรือสารต่าง ๆ จากดินได้ดีขึ้น เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์ในดินและรากพืช ส่งผลให้การดูดซึมสารอาหาร การตรึงธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจุลินทรีย์สามารถช่วยเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำและดูดซึมได้ง่ายขึ้น เช่น แบคทีเรียละลายฟอสเฟต (Phosphate Solubilizing Bacteria - PSB) เปลี่ยนฟอสเฟตที่จับตัวอยู่ในดินให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันระหว่างรากพืชกับเชื้อรา (Mycorrhizal Association) เชื้อราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal Fungi) เช่น Glomus ช่วยขยายระบบรากของพืช เพิ่มพื้นที่ดูดซึมธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส (P) และธาตุอาหารรองอื่น ๆ กระตุ้นการเติบโตของพืช *Pseudomonas* และ *Bacillus* ผลิตฮอร์โมนพืช (เช่น Auxin และ Gibberellin) กระตุ้นการเติบโตและการดูดซึมธาตุอาหาร จุลินทรีย์ช่วยพืชดูดซึมและกำจัดโลหะหนัก (Heavy Metal Uptake and Bioremediation) ให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมและสะสมในเนื้อเยื่อพืชได้ ช่วยให้เกิดกระบวนการไฟโตรีมีเดียชัน (Phytoremediation) [11-16] Liu และคณะ [17] รายงานว่าการกำจัดธาตุอาหารโดยดินในบริเวณที่มีพืชสูงกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$ ซึ่งไม้ประดับส่วนใหญ่ปรับตัวให้เข้ากับการบำบัดน้ำทิ้งได้ดี บ่งชี้ถึงการเกิดกระบวนการ microbes plant uptake ในแปลงที่มีพืช ส่วนแปลงที่ไม่มีพืชในบ่อควบคุมจะเกิดการทำงานของประจุของดินและกระบวนการดูดซับช่วยให้ลดปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะหนักได้

การกำจัดโครเมียม พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านแปลงทดลองทั้ง 3 ได้ ลักษณะการไหลของน้ำทั้งเข้าระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และมีน้ำไหลอย่างช้า ๆ ผ่านกึ่งก้านของพืชในระบบเกิดลักษณะการไหลของน้ำแบบฟลักซ์

โพล์ (plug - flow) พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบน้ำไหลเหนือผิวดินแตกต่างกันไปตามชนิดที่พืชใช้ โดยรูปฤๅษีและพุทธรักษา มีลักษณะการไหลของน้ำเหนือดินโดยใช้พืชรากเกาะดิน (Emergent Plant) ส่วนบัวแดงมีลักษณะการไหลเหนือดินโดยใช้พืช อยู่ใต้น้ำ (Submerged Macrophyte) เกิดกลไกการกำจัดโครเมียมจากการตกจม (settling and sedimentation) บริเวณ ด้านบนของน้ำทั้งและกระบวนการดูดซับ (adsorption) กับประจุลบของดิน (anion charge) นอกจากนั้นยังเกิดกลไกการ เปลี่ยนรูปไปเป็นรูปที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยกิจกรรมของแบคทีเรีย (Reduction to non-mobile form by bacterial activity) กล่าวคือ เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงสารเคมีหรือโลหะหนักที่อยู่ในสภาพที่เคลื่อนที่ได้ (mobile form) ให้กลายเป็นรูปแบบที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (non-mobile form) ผ่านกระบวนการรีดักชัน (reduction) ช่วยลดการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม แบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้สารอนินทรีย์ เช่น ไอออนของโลหะหนักเป็นตัวรับ อิเล็กตรอนในการหายใจแบบไร้อากาศ (anaerobic respiration) กระบวนการนี้ทำให้สารประกอบเปลี่ยนสถานะออกซิเดชัน (oxidation state) และตกตะกอนหรือจับตัวกับสารอื่นให้คุณสมบัติที่เคลื่อนที่ไม่ได้ ตัวอย่างการเปลี่ยนรูปของสารมลพิษ โครเมียม ($Cr^{6+} \rightarrow Cr^{3+}$) แบคทีเรียรีดิวซ์โครเมียมเกิดเป็นโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ซึ่งละลายน้ำและเป็นพิษสูง ให้กลายเป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ (Cr^{3+}) ซึ่งไม่ละลายน้ำและมีพิษต่ำ

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า รูปฤๅษี พุทธรักษา และบัวแดง มีประสิทธิภาพสูงสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ ได้ภายใต้เงื่อนไขการกักขังน้ำ 5 วันสลับแห้ง 2 วัน พืชจะเติบโตได้ดีในระบบนี้และพัฒนาระบบรากที่ลึก และหนาแน่นได้ สามารถใช้ในการกำจัดมลพิษเพื่อปรับสภาพลดค่าบีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโครเมียม เมื่อมีมลพิษหลายชนิดพบในน้ำทิ้งของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ การสะสมโลหะหนักในพืชทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดพันธุ์พืช พุทธรักษาเป็นพืชที่เหมาะสมสำหรับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมแบบไหลผ่านพื้นผิวที่มี เวลาการกักขังน้ำและแห้งสลับกัน เนื่องจากการเติบโตที่แข็งแรงกว่าและมีประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษสูง ช่วยเพิ่มมูลค่า ความสวยงามของพื้นที่บำบัดน้ำทิ้ง

ข้อเสนอแนะการวิจัย

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการทดลอง พบว่า การบำบัดน้ำเสียมีแนวโน้มของประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแปรผันตามความหนาแน่นของพืช เพิ่มขึ้น แต่ต้องมีการกำจัดใบที่เหี่ยวแห้งซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกระจายน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดมีปัญหาการซึมของน้ำในพื้นที่ รับน้ำ และอาจต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางและปลูกพืชใหม่เนื่องจากระบบจะเกิดการอุดตันของตัวกลาง เนื่องจากพืชมีความ หนาแน่นมากเกินไป ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ความสามารถในการบำบัดลดลง จึงควรกระตุ้นด้วยการตัดแต่งพืชให้มีความสามารถในการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น และหน่วยงานควร นำระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบพืชชุ่มน้ำเทียมไปทดลองใช้สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่สำหรับทำแปลงพืชได้และสามารถบำบัด น้ำทิ้งของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ได้ดี

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรวิเคราะห์ดินและพืชหลังผ่านการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงการดูดซับธาตุอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนของน้ำที่ใช้ ทดสอบ ทำการศึกษาการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบพืชชุ่มน้ำเทียมไปใช้ประโยชน์การเกษตรพร้อมเก็บข้อมูล และบัวแดงเมื่อระยะการปลูกเพิ่มขึ้นจะพบว่ามีตายและการเติบโตได้ไม่ดีเท่ารูปฤๅษีและพุทธรักษา ควรศึกษา ชีตความสามารถของพืชสูงสุดเพื่อรองรับความสกปรกของน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี 2566 และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Luengsuntorn, S., Techaphinyawat, S., and Chanwong, N. (2010). *Treatment of wastewater from the Suphanburi municipal slaughterhouse using lotus (Nelumbo nucifera)*. Proceedings of the 48th Kasetsart University Conference: Natural Resources and Environment.
- [2] Sharma, S., and Anamika, D. (2020). Waste management practices done in educational institutions worldwide: A review-based study. *Journal of Critical Reviews*, 7(12), 4799-4805.
- [3] Ninlaor, N., Rattanapan, K., and Rattanapan, W. (2021). Environmental laboratory wastewater treatment by the fenton reaction. *Journal of Vocational Education in Agriculture*, 5(2), 79-89.
- [4] Coundoul, F., Ndiaye, A. K., Deme, A., and Torrens, A. (2024). Characterization of Wastewater in school environments for an ecological treatment solution: A case study of Ndiebene Gandiol 1 school. *Journal of Water Resource and Protection*, 16, 27-40.
- [5] APHA. AWWA, WPFC (1998). Standard methods for examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association Washington, DC.
- [6] Boonphrom, P. (2011). Natural wastewater treatment using constructed wetland systems. *Siam University Engineering Journal*, 12(22), January-June 2011.
- [7] Fongphet, P., Wiboonuthai, J., and Pornpimonthep, C. (2009). Efficiency of *Canna indica* in treating community wastewater using a vertical subsurface flow constructed wetland system. *Journal of Environmental Management*, 5(2), 89-99.
- [8] Kong, L., Yu-Bin Wang, Y. B., Zhao, L.N., and Chen, Z. H. (2009). Enzyme and root activities in surface-flow constructed wetlands. *Chemosphere*, 76(5), 601-608.
- [9] Edwards, K. R., Zemanová, H. C. K., and Šantrůčková, H. (2006). Plant growth and microbial processes in a constructed wetland planted with *Phalaris arundinacea*. *Ecological Engineering*, 27(2), 153-165.
- [10] Kearney, M. A., and Zhu, W. (2012). Growth of three wetland plant species under single and multi-pollutant wastewater conditions. *Ecological Engineering*, 47, 214-220.
- [11] Zhang, Z., Rengel, Z., and Meney, K. (2009). Kinetics of ammonium nitrate and phosphorus uptake by *Canna Indica* and *Schoenoplectus validus*. *Aquatic Botany*, 91, 71-74.
- [12] Phewnil, O., Chunkao, K., Prabhuddham, P., and Pattamapitoon, T. (2024). Application of different aquatic plants in an alternated fill and drain wetland system of Phetchaburi municipal wastewater treatment in Thailand. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 1304-1313.

- [13] Brix, H. (1989). Wastewater Treatment in Constructed Wetland: System Design, Removal Process, and Treatment Performance. pp. 9-22. In G. A. Moshiri (ed.), *Constructed Wetland for Water Quality Improvement*. CRC Press, Inc. Florida.
- [14] Xiao-bin, Z., Peng, L., Yue-suo, Y., and Wen-ren, C. (2007). Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *Journal of Environmental Sciences*, 19(8), 902-909.
- [15] Kumari, D., and Dutta, K. (2023). Study on the performance of vertical flow constructed wetland microcosms with *Canna* spp. for treatment of high chromium-containing wastewater. *Chemosphere*, 341, Article 139993.
- [16] Thongin, L., Wiboonuthai, J., and Angkanasayan, S. (2011). Efficiency of *Typha angustifolia* and *Cyperus rotundus* in treating community wastewater using a stem-flow constructed wetland system. *KKU Research Journal (GS)*, 11(3), 49-58.
- [17] Liu, X., Huang, S., Tang, T., Liu, X., and Scholz, M. (2012). Growth characteristics and nutrient removal capability of plants in subsurface vertical flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 44, 189-198.