

ผลการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียต่อประสิทธิภาพของพืชน้ำท้องถิ่น ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่ผลิตในระดับครัวเรือน

Effects of pH Adjustment in Wastewater on the Efficiency of Local Aquatic Plants in Treating Wastewater from a Household-Scale Rice Noodle (Khanom Jeen) Factory

อังศุมา ก้านจักร, เมตตา เก่งชูวงศ์ และ รติกร แสงห้าว

Angsuma Kanchak, Metta Kengchuwong and Ratikorn Sanghaw

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ประเทศไทย

Environmental Science Department, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Thailand

Received : 27 October 2024, Received in revised form : 12 February 2025, Accepted : 13 February 2025

Available online : 10 March 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : น้ำเสียที่เกิดจากโรงผลิตขนมจีนจะมีลักษณะสีขาวขุ่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว เนื่องจากมีสารอินทรีย์จากการแปรรูปแป้งหมักให้เป็นเส้น ส่งผลให้น้ำเสียมีค่าความเป็นกรดสูงคือมี pH อยู่ในช่วง 3.25-3.56 จึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนต่อประสิทธิภาพของพืชน้ำที่พบทั่วไปในท้องถิ่น 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา กกกลม และพุทธรักษา ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนด้วยระบบบำบัดเพื่อลดต้นทุนของระบบบำบัดให้สามารถนำไปใช้ได้ในระดับครัวเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย : บำบัดน้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นบ่อปูนซีเมนต์ ขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 25 x 25 x 60 เซนติเมตร ภายในบรรจุด้วยกรวดและดินปลูก ซึ่งจะอนุบาลพืชน้ำท้องถิ่นที่ศึกษาให้มีรากพืชแข็งแรงและแตกหน่อใหม่ก่อนนำไปทดลอง โดยทำการคัดเลือกพืชน้ำแต่ละชนิดที่มีขนาดลำต้นและความสูงใกล้เคียงกัน แล้วทำการตัดแต่งให้มีความยาวของต้นประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละบ่อทดลองใช้พืชน้ำต่างชนิดๆ ละ 0.5 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) การศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ทำการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เป็นกลาง (pH เท่ากับ 7) ด้วยปูนขาว และไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียในระบบบำบัด ซึ่งระบบบำบัดของชุดการทดลองนี้ประกอบด้วย 4 บ่อ ได้แก่ บ่อควบคุม (ไม่มีการปลูกพืช) บ่อผักตบชวา บ่อกกกลม และบ่อพุทธรักษา ใช้น้ำเสียบ่อละ 10 ลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน และชุดที่ 2 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชน้ำท้องถิ่น 2 ชนิด ที่ติดตั้งแบบอนุกรม ดังนี้ ถึงพักน้ำเสีย บ่อกกกลม บ่อพุทธรักษา และบ่อพักน้ำทิ้ง โดยใช้น้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน 20 ลิตรต่อวัน ปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย 14 มิลลิลิตรต่อวินาที ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง และทำการเดินระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าและออกจากระบบไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทุกวันประกอบด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสเฟต ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้สถิติ F-test (One-way Anova) และ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ผลการวิจัย : ชุดการทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพของพืชน้ำท้องถิ่น 3 ชนิด คือ ผักตบชวา กกกลม และพุทธรักษา ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ 3 ช่วงระยะเวลา (3, 5 และ 7 วัน) สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 88.66-97.34, 72.33-85.47 และ 6.23-35.48 ตามลำดับ ส่วนผลของการไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสีย สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 82.40-96.62, 74.31-85.47 และ 8.90-69.41 ตามลำดับ โดยพืชที่มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดในทั้ง 2 สภาวะ คือ กกกลม โดยพบว่าในสภาวะที่ปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 66.78 และ 71.63 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียพบว่ามีค่าแตกต่างกัน โดยพืชน้ำทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าการบำบัดโดยไม่มีพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ส่วนชุดการทดลองที่ 2 พบว่าคุณภาพน้ำเข้าระบบบำบัดจะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน เมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดด้วยพืชน้ำ พบว่าคุณภาพน้ำออกของทุกพารามิเตอร์มีค่าลดลง ยกเว้นความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสเฟต ด้วยพืชน้ำเท่ากับร้อยละ 86.96, 57.33, 76.24, 48.98 และ 24.04 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย : การใช้พืชน้ำท้องถิ่น ได้แก่ กกกลมและพุทธรักษา สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงในรูปของบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสเฟตได้ และที่สำคัญเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียแล้ว ค่าความเป็นกรด-ด่างจากทุกการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 2.93 – 3.31 เฉลี่ยเท่ากับ 3.05 เมื่อผ่านการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.44-4.80 เฉลี่ยเท่ากับ 3.99

คำสำคัญ: การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ; น้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน ; พืชน้ำท้องถิ่น

Abstract

Background and Objectives : The wastewater generated from a Khanom Jeen (fermented rice noodles) factory is characterized by its turbid milky white appearance and sour odor, which results from the presence of organic matter derived from the fermentation of starch during noodle processing. As a result, this wastewater exhibits high acidity, with a pH ranging from 3.25 to 3.56, that affect human health including environmental problems. Therefore, the objectives of this study were to investigate the effects of pH adjustment and non-adjustment on the efficiency of three locally available aquatic plants, i.e. water hyacinth, umbrella plant, and canna- in treating wastewater from Khanom Jeen production. The ultimate goal is to explore an effective and cost-efficient wastewater treatment system suitable for household-scale implementation, thereby promoting sustainable wastewater management practices.

Methodology : The study was conducted using experimental wastewater treatment ponds constructed from cement tanks with dimensions of 25 cm in width, 25 cm in height, and 60 cm in length. Each ponds was filled with gravel and planting soil. The plants were pre-cultivated to ensure root stabilization and new shoot (sprout) growth before employing in the experiments. Features of each plant type, i.e., size, height, stem, and 50 cm root length approximately, and 0.5 kg (wet basis) each were considered. The study was divided into two experimental setups. In the first setup, the wastewater pH was adjusted to neutral condition (pH 7) by using lime (Cao), and compared with untreated acidic wastewater. This setup consisting of four treatments, i.e., a control pond (no plant cultivation), a pond with water hyacinth, a pond with umbrella plant, and a pond with canna. Each treatment contained 10 liters of wastewater, and the periods retained at 3, 5, and 7 days. As for the second set, the experiment of a sequential wastewater treatment system was utilized with different aquatic plant species in each treatment, comprising a wastewater holding tank, a pond with umbrella plant, a pond with canna, and a final effluent storage pond. The system was operated continuously for 15 days, treating 20 liters per day of wastewater at a flow rate of 14 mL/min and a retention time of 24 hours per pond. Sampling of influent and effluent wastewater were collected, and were analyzed of key water quality parameters, including pH, total suspended solids (TSS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), and phosphate (PO_4^{3-}). Mean values, standard deviation, and F-test (One-way Anova Analysis) comparisons were statistics for analysis. The mean difference of plant remediation efficiency in wastewater treatment conditions was compared by using Least Significant Difference (LSD) at a 0.05 significance level.

Results : For the first experimental set, found that the three local aquatic plant species, i.e. water hyacinth, umbrella plant, and canna were demonstrated significant efficiency in reducing total suspended solids, biochemical oxygen demand, and phosphate across the three retention periods (3, 5, and 7 days). In the pH-adjusted condition, removal efficiencies ranged from 88.66% to 97.34% for TSS, 72.33% to 85.47% for BOD, and 6.23% to 35.48% for phosphate. In the non-adjusted condition, the corresponding removal efficiencies were 82.40% to 96.62% for TSS, 74.31% to 85.47% for BOD, and 8.90% to 69.41% for phosphate. Among the three species, umbrella plant exhibited the highest treatment efficiency under both conditions, with average efficiencies of 66.78% (pH-adjusted) and 71.63% (non-adjusted). A significant difference ($p < 0.05$) in treatment efficiency was observed between pH-adjusted and non-adjusted conditions, with all plant species performing significantly better than the control (no plants). In the second setup, daily variations influent water quality were observed. As wastewater passed through the plant-based treatment system, all measured parameters showed a reduction except for pH, which increased. The treatment efficiencies for TSS, BOD, COD, total nitrogen, and phosphate

were 86.96%, 57.33%, 76.24%, 48.98%, and 24.04%, respectively. The system achieved removal efficiencies of 86.96% for SS, 57.33% for BOD, 76.24% for COD, 48.98% for TN, and 24.04% for phosphate.

Conclusion: This study demonstrates the potential of utilizing locally available aquatic plant species, particularly umbrella plant and canna, for effective wastewater treatment. These plants significantly reduced total suspended solids, organic pollutants, including BOD, COD, total nitrogen, and phosphate concentrations in wastewater from a Khanom Jeen factory. Furthermore, a notable increase in pH was observed after treatment in all experiments, suggesting an improvement in wastewater acidity. The initial pH of the influent ranged from 2.93 to 3.31, with an average of 3.05, whereas the treated effluent had an increased pH range of 3.44 to 4.80, with an average of 3.99. The use of these plant species in a low-cost, sustainable treatment system offers a viable solution for managing acidic wastewater in small-scale and household settings, thereby contributing to improved environmental and public health outcomes. Future research should explore long-term performance, the potential for nutrient recovery, and the feasibility of scaling up this treatment approach for larger wastewater volumes.

Keywords : pH adjustment ; wastewater from Khanom Jeen factory ; local aquatic plants

*Corresponding author. E-mail : Angsuma1983@gmail.com

Introduction

ขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปมาจากแป้งในรูปของเส้นขนาดเล็ก สีขาว มีความนุ่มลื่น นิยมรับประทานแทนข้าวคู่กับน้ำยาขนมจีนชนิดต่างๆ หรือรับประทานคู่กับอาหารอื่นๆ (Muleng & Jijai, 2019) การผลิตขนมจีนจะใช้น้ำปริมาณมาก เริ่มตั้งแต่การหมักข้าว การไม่ปลายข้าวหมัก การนึ่งน้ำแป้ง การทับน้ำแป้ง การนึ่งแป้ง การนวดแป้ง การกรองแป้ง การต้มเส้นขนมจีน และการทำขนมจีนให้เป็นจับ (Department of Industrial Works, 2009) น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะสีขาวขุ่น กลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีสารอินทรีย์จำพวกแป้งซึ่งวัดในรูปของบีโอดี 1,500-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 4,500-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sawain *et al.*, 2016) น้ำเสียมีความเป็นกรดสูง โดยมีค่า pH 3.0-4.5 (Rattanapan, 2007) 4.0-5.5 (Sawain *et al.*, 2016) และ 4.25 (Boonprot, 2014) หากโรงงานผลิตขนมจีนขาดการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะทำให้แหล่งน้ำเกิดการทับถมของตะกอนสีขาวของแป้งที่ใช้ในการผลิต เกิดกลิ่นเหม็น ทำให้แหล่งน้ำอาจเกิดการเน่าเสีย หรือส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และสิ่งแวดล้อมได้

การผลิตขนมจีนในปัจจุบันมีทั้งการผลิตในโรงงานขนาดเล็กจนไปถึงขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทั้งการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ชุมชน และครัวเรือน ในส่วนพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดมหาสารคาม เป็นพื้นที่หนึ่งที่นิยมบริโภคขนมจีน จึงมีแหล่งผลิตขนมจีนจำนวนมาก ส่วนหนึ่งจะเป็นโรงผลิตขนมจีนที่ผลิตในระดับครัวเรือนที่ใช้แรงงานจากสมาชิกในครอบครัว ดังเช่น โรงผลิตขนมจีนในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ที่คณะผู้วิจัยใช้เป็นพื้นที่ศึกษา ทำการผลิตขนมจีนเส้นสด ประมาณ 80-100 กิโลกรัมต่อวัน ในกระบวนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่การนำผงแป้งขนมจีน

สำเร็จรูปมาต้มเพื่ออุ่นแป้ง นำแป้งที่อุ่นแล้วใส่ในเครื่องตีแป้งเดิมเกลือและแป้งมัน ตีแป้งให้เข้ากันพักไว้ 1 คืน จากนั้นนำแป้งมากรองให้ละเอียด ใส่ในเครื่องโรยแป้งบีบเส้นลงในหม้อน้ำเดือด เมื่อเส้นสุกและลอยขึ้นจะทำการตักโดยใช้สวิงและล้างน้ำ จับจับเส้นขนมจีนที่แช่อยู่ในน้ำล้างสุดท้าย รีดน้ำออกและเรียงใส่ถ้วยเพื่อรอการจำหน่าย น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตประมาณ 500 ลิตรต่อวัน จะไหลไปยังบ่อพักน้ำเสีย หากมีน้ำท่วมขังจะมีการสูบน้ำออกไปรดต้นไม้บริเวณภายในรั้วบ้าน และหากน้ำมีกลิ่นเหม็นจะใช้น้ำส้มควันไม้ในการดับกลิ่นก่อนปล่อยทิ้งในพื้นที่หลังบ้าน ลักษณะน้ำเสียจะมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์วัดค่าบีโอดี 7,200-7,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอย 1,290-1,480 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง 3.50-3.51 ฟอสเฟต 0.3230-0.3161 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรเจนทั้งหมด 28.00-29.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sonraksa & Changchansri, 2022) ดังนั้น จึงต้องทำการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดความสกปรกก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

การบำบัดน้ำเสียมีมากมายหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม สถานการณ์ และต้นทุนในการบำบัด นอกจากนี้ยังมีหลากหลายงานวิจัยที่คิดค้นออกแบบเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนมจีน (Pratum, 2016) ไม่ว่าจะเป็นการใช้พืชในการบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก มีค่าใช้จ่ายน้อย อาศัยกระบวนการทำงานร่วมกันระหว่างดิน น้ำ พืชและจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการดูดซับสารมลพิษต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และของแข็งแขวนลอย (Pollution Control Department, 2012) พืชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ หญ้าแฝกหอมจันทร์ กกกลมจันทร์ (Pratum, 2016) กกกลม ภูปลาณี (Muleng & Jijai, 2019) พุทธรักษา ผักคราดหัวแหวน (Somprasert *et al.*, 2016) ผักตบชวา จอก แหน (Pollution Control Department, 2012) รวมถึงพันธุ์พืชในหนองน้ำที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำเน่าเสีย เช่น กกกลม ภูปลาณี พุทธรักษาและผักตบชวา ซึ่งสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำทั้งในน้ำเสียและน้ำสะอาด โดยรากผักตบชวาจะมีบทบาทในการเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุ รวมทั้งธาตุอาหารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Ariyakanon, 2018)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการนำพืชน้ำที่มีในท้องถิ่นไปใช้ประโยชน์ทางด้านการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนโดยจะศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิด ได้แก่ ผักตบชวา กกกลม และพุทธรักษา ซึ่งเป็นพืชบำบัดน้ำเสียประเภทไหลผ่านน้ำ พืชชายน้ำ และพืชลอยน้ำ แต่เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากโรงผลิตขนมจีนมีความเป็นกรดสูงคือมีค่า pH 3.25-3.56 (Aiamsaart & Naka, 2021) จึงต้องทำการศึกษาเบื้องต้นโดยศึกษาผลของการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียโรงผลิตขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพืชน้ำแต่ละชนิด จากนั้นนำผลการศึกษาไปทำการทดลองเดินระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง (Continuous Influent Flow) ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ศึกษาคุณภาพน้ำเข้า-น้ำออก และประสิทธิภาพของระบบบำบัดของพืชน้ำในด้านการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ นอกจากจะลดความสกปรกของน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางพิจารณาความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตขนมจีนในระดับครัวเรือนที่ยังไม่มีระบบบำบัดเบื้องต้นได้

Methodology

1. น้ำเสียที่ใช้ทดลอง เป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงผลิตขนมจีนที่ผลิตในระดับครัวเรือน ดัง Figure 1 แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ทำการเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำเสียดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนปริมาณ 100 ลิตร แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) น้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่ยังไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณ 50 ลิตร และ (2) น้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เป็นกลาง คือ pH เท่ากับ 7 ด้วยปูนขาว ปริมาณ 50 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนในส่วนของขั้นตอนที่ผ่านการต้มเส้นขนมจีนในหม้อและน้ำล้างชั้นแรกมาทำการทดลอง เพื่อต้องการน้ำเสียขนมจีนที่มีความเข้มข้น โดยเติมตัวอย่างน้ำเสียในถังพักน้ำเสียทุกวัน เพื่อเดินระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 15 วัน



(a) Khanom Jeen Factory

(b) Wastewater used for experiments

Figure 1 a Household-Scale Noodles (Khanom Jeen) Production Facility and the Wastewater Used for Experimentation



(a) Umbrella Plant

(b) Canna

(c) Water Hyacinth

Figure 2 Local Aquatic Plants Used in the Experiment

2. พืชที่ใช้ทดลอง

2.1 ชนิดของพืชที่ใช้ทดลอง จะเลือกพืชที่มีอยู่ในท้องถิ่นซึ่งเกิดเองตามธรรมชาติและหาได้จากพื้นที่ชุ่มน้ำทั่วไป จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ กกกลม พุทธรักษา และผักตบชวา ดัง Figure 2 เลือกส่วนของลำต้นที่มีขนาดความสูงใกล้เคียงกันใช้ กกกลม พุทธรักษา และผักตบชวา ที่ขนาดความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร ชนิดละ 0.5 กิโลกรัมเป็ยกต่อบ่อการทดลอง

2.2 การเตรียมพืชในการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ทดลองกับน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

- พืชที่ใช้ทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ กกกลม พุทธรักษา และผักตบชวา ทำการอนุบาลต้นพืชให้รากพืชแข็งแรง และแตกหน่อใหม่ในบ่อทดลองขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 25 x 25 x 60 เซนติเมตร เลือกพืชแต่ละชนิดที่ลำต้นมีขนาดความสูงใกล้เคียงกันมาตัดแต่งลำต้นและรากให้มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ชนิดละ 0.5 กิโลกรัมเป็ยกต่อบ่อทดลอง นำต้นกกกลมและพุทธรักษาไปปักชำลงในบ่อที่เตรียมไว้ให้มีระยะห่างระหว่างต้น 7 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 10 เซนติเมตร ใส่ต้นกกกลมและพุทธรักษา ประมาณ 8 ต้น ส่วนผักตบชวาซึ่งนำหนักแล้วนำไปใส่ในบ่อ จากนั้นดูแลรักษาด้วยน้ำตามธรรมชาติเป็นระยะเวลา 30 วัน จนรากพืชแข็งแรงและแตกหน่อใหม่ก่อนนำไปทดลองกับน้ำเสียจริง

ชุดการทดลองที่ 2 ทดลองกับน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนโดยทำการเดินระบบบ่อบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

- พืชที่ใช้ทดลอง 2 ชนิด ได้แก่ กกกลมและพุทธรักษา ทำการอนุบาลต้นพืชให้รากพืชแข็งแรงและแตกหน่อใหม่ในบ่อทดลองขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 25 x 25 x 60 เซนติเมตร โดยเลือกพืชแต่ละชนิดที่ลำต้นมีขนาดความสูงใกล้เคียงกัน มาตัดแต่งลำต้นและรากให้มีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ชนิดละ 0.5 กิโลกรัมเป็ยกต่อบ่อทดลองได้ประมาณ 8 ต้น จากนั้นนำต้นกกกลมและพุทธรักษาไปปักชำลงในบ่อที่เตรียมไว้ให้มีระยะห่างระหว่างต้น 7 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 10 เซนติเมตร ดูแลรักษาด้านพืชเป็นระยะเวลา 30 วัน ด้วยน้ำตามธรรมชาติ จากนั้นเติมน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนผสมกับน้ำตามธรรมชาติเพื่อให้พืชน้ำคุ้นเคยกับน้ำเสีย โดยจะค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียจนพืชสามารถเจริญเติบโตด้วยน้ำเสียจริงก่อนทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง รวมระยะเวลาดูแลพืชน้ำทั้งหมด 45 วัน

3. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทดลอง

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นบ่อปูนซีเมนต์ขนาดกว้าง x สูง x ยาว เท่ากับ 25 x 25 x 60 เซนติเมตร ภายในบ่อบรรจุด้วยกรวดและดินปลูกโดยเรียงลำดับจากชั้นล่างเป็นกรวดหนา 2 เซนติเมตร และชั้นดินปลูกหนา 8 เซนติเมตร ทำการปลูกพืชแต่ละชนิดลงในบ่อดังรายละเอียดหัวข้อ 2.2 แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ทดลองกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่ยังไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดัง Figure 3

- ส่วนที่ 1 ทดลองกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่ยังไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง แบ่งออกเป็น 4 บ่อ คือบ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม (ไม่มีการปลูกพืช) บ่อที่ 2 ผักตบชวา บ่อที่ 3 ต้นกกกลม และบ่อที่ 4 ต้นพุทธรักษา ใช้น้ำเสียบ่อละ 10 ลิตร ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3, 5 และ 7 วัน

- ส่วนที่ 2 ทดลองกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เป็นกลาง คือ pH เท่ากับ 7 ด้วยปูนขาว แบ่งออกเป็น 4 บ่อ คือ บ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม (ไม่มีการปลูกพืช) บ่อที่ 2 ผักตบชวา บ่อที่ 3 ต้นกกกลม และบ่อที่ 4 ต้นพุทธรักษา ใช้น้ำเสียบ่อละ 10 ลิตร ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 3, 5 และ 7 วัน

ชุดการทดลองที่ 2 เติมน้ำบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน 20 ลิตรต่อวัน ปรับอัตราการไหลของน้ำเสีย 14 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของพืชน้ำแต่ละชนิดต่อแบบอนุกรมกัน ประกอบด้วย บ่อพักน้ำเสีย บ่อกกกลม บ่อพุทธรักษา และบ่อผักตบชวา ตามลำดับ ทำการเดินระบบเป็นเวลา 15 วัน น้ำเสียจะไหลมาตามท่อระบายน้ำเข้ามาในบ่อทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Influent Flow) ดัง Figure 4

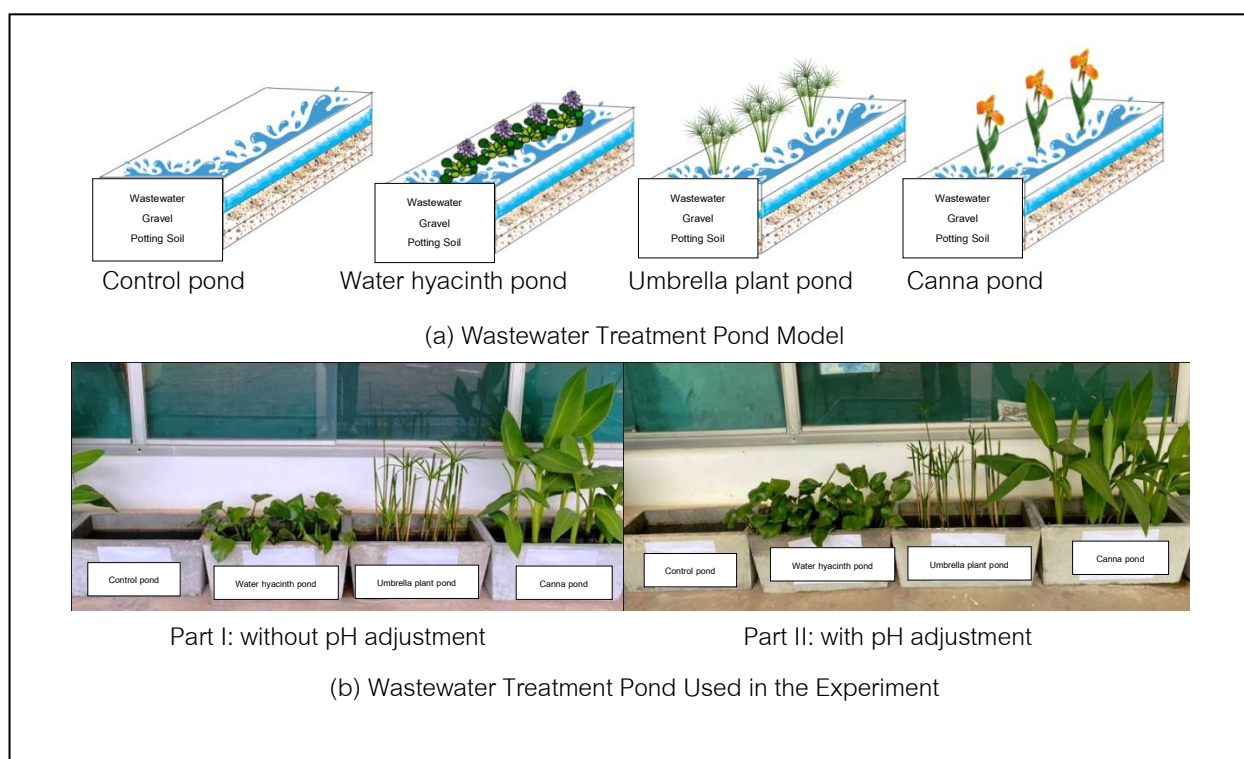


Figure 3 Model and Experimental Wastewater Treatment Pond

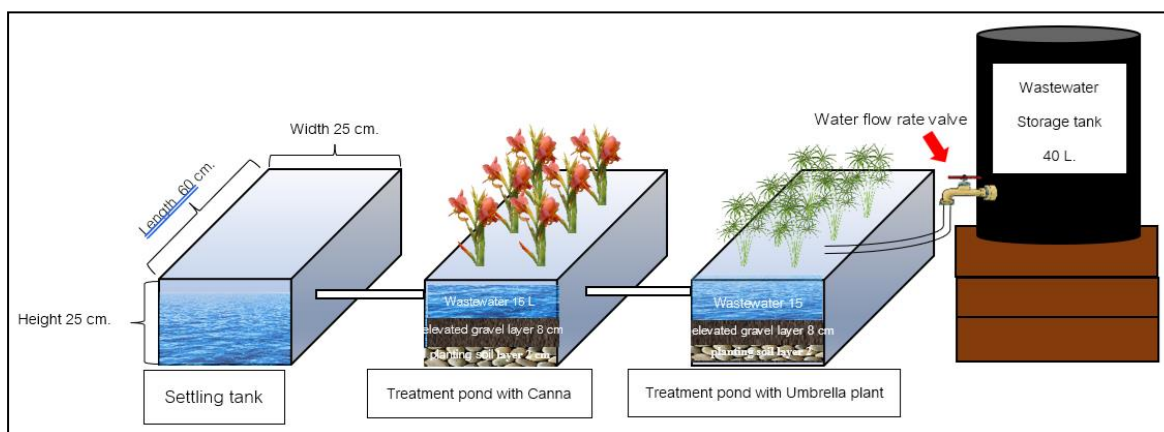
4. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

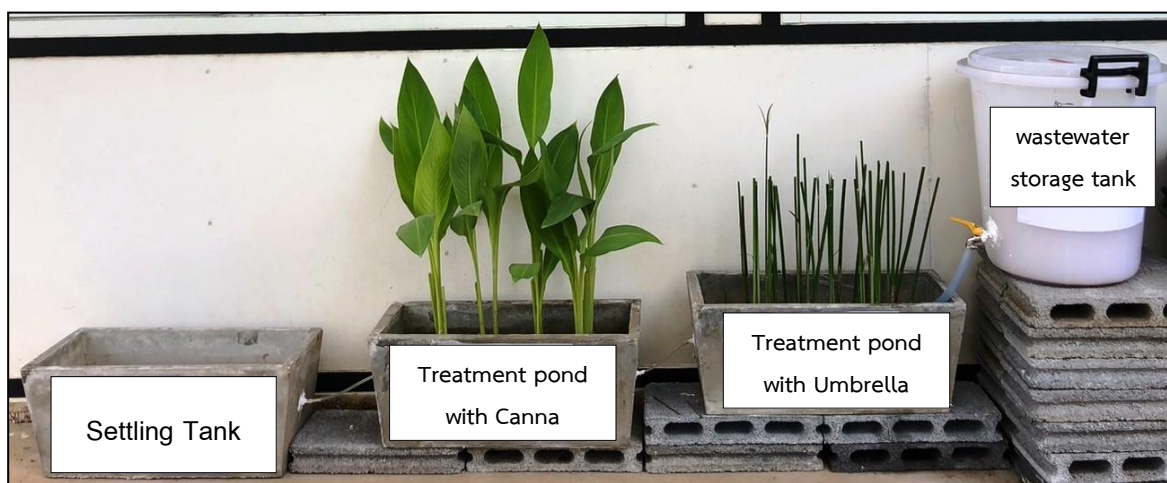
ชุดการทดลองที่ 1

1. เตรียมบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทดลอง 2 ส่วน ชุดละ 4 บ่อ ได้แก่ บ่อควบคุม (ไม่มีการปลูกพืช) บ่อกกกลม บ่อพุทธรักษา และบ่อผักตบชวา ดังรายละเอียดข้อ 3 ชุดการทดลองที่ 1 ดัง Figure 4

2. เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน ปริมาณ 100 ลิตร แบ่งน้ำเสียออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) เติมน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่ยังไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณ 50 ลิตร และ (2) เติมน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็นกลาง คือ pH เท่ากับ 7 ด้วยปูนขาว ปริมาณ 50 ลิตร จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียแต่ละส่วนไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าบำบัด โดยพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย บีโอดี และฟอสเฟต จำนวน 3 ชั่วโมง ดัง Table 1



(a) Wastewater treatment system model



(b) Experimental wastewater treatment pond system

Figure 4 Model and Experimental Wastewater Treatment Pond System

3. เติมตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละบ่อทดลอง ปริมาณ 10 ลิตร ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จำนวน 3 ซ้ำ ดัง Table 1 เมื่อวิเคราะห์หาค่าคุณภาพน้ำเข้าและน้ำออกจากบ่อบำบัดจะนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ)} = \frac{\text{คุณภาพน้ำเข้า} - \text{คุณภาพน้ำออก}}{\text{คุณภาพน้ำเข้า}} \times 100$$

เมื่อ $\text{คุณภาพน้ำเข้า} = \text{คุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัด}$

$\text{คุณภาพน้ำออก} = \text{คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัด}$

Table 1 Study parameters and analytical tools/methods

Parameter	Unit	Tools/Methods
1. pH	-	pH Meter
2. Suspended solid	mg/L	Gravimetric Method
3. BOD	mg/L	Azide Modification
4. COD	mg/L	Absorbance Meter
5. Total Nitrogen	mg/L	Kjeldahl Method
6. Phosphate	mg/L	Ascorbic Acide

ชุดการทดลองที่ 2

เมื่อได้ผลการทดลองจากชุดการทดลองที่ 1 จะเลือกพืชน้ำ 2 ชนิดที่มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดมาทำการทดลองโดยเดินระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

- 1) เตรียมระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทดลอง ดังรายละเอียดข้อ 3 ชุดการทดลองที่ 2
- 2) นำบ่อบำบัดน้ำเสียที่อนุบาลพืชแล้วมาต่อท่อเชื่อมโยงกันแบบอนุกรม ประกอบด้วย ถังพักน้ำเสีย บ่อกกกลม บ่อพืชรักษา และบ่อพักน้ำทิ้ง ตามลำดับ ดัง Figure 4
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสเฟต จำนวน 3 ซ้ำ ดัง Table 1
- 4) เติมตัวอย่างน้ำเสียในถังพักน้ำเสียปริมาณ 20 ลิตรต่อวัน ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง ปรับอัตราการไหลของน้ำ 14 มิลลิลิตรต่อนาที โดยการเปิดวาล์วน้ำ น้ำเสียจะไหลมาตามท่อระบายน้ำเข้าบ่อทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Influent Flow) ไปยังบ่อกกกลม บ่อพืชรักษา และบ่อพักน้ำทิ้ง ตามลำดับ

5) เมื่อน้ำเสียปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดของพืชน้ำจืดตามเวลาที่กำหนด จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ จำนวน 3 ชั่วโมง ดัง Table 1 และทำการทดลองโดยปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดของพืชน้ำจืดอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 15 วัน

Results

1. ผลการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพืชน้ำ

จากผลการทดลองชุดที่ 1 คุณภาพน้ำเข้าบำบัดของพืชน้ำ 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.51 ± 0.01 ของแอมโมเนียไนโตรเจน $1,383.33 \pm 95.04$ มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี $7,600 \pm 346.41$ มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟตน้ำเข้า 0.32 ± 0.0050 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อน้ำออกจากบำบัดของพืชน้ำที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน พบว่า คุณภาพน้ำออกของทุกพารามิเตอร์มีค่าลดลง โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน บีโอดี และฟอสเฟตในแต่ละบ่อบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำมากขึ้น ดัง Table 2, 3

Table 2 water quality and efficiency of each types of local aquatic plants in treating wastewater with pH adjustment

HRT	Parameters	control pond		water hyacinth pond		round papyrus pond		canna pond	
		Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)
3 Day	pH	6.31 ± 0.01	-	6.36 ± 0.01	-	6.42 ± 0.01	-	6.37 ± 0.00	-
	SS (mg/L)	243.33 ± 11.55	82.32 ± 1.96	156.67 ± 5.77	88.66 ± 0.46	146.67 ± 5.77	89.38 ± 0.42	140.00 ± 10.00	89.88 ± 0.04
	BOD (mg/L)	$2,150 \pm 86.60$	71.69 ± 1.21	$2,100 \pm 0.00$	72.33 ± 1.30	$1,950 \pm 150.00$	74.36 ± 1.11	$1,600 \pm 86.60$	78.90 ± 1.84
	Phosphate (mg/L)	0.28 ± 0.0000	12.01 ± 1.38	0.29 ± 0.0002	8.66 ± 1.39	0.29 ± 0.0003	7.16 ± 1.39	0.29 ± 0.0003	8.53 ± 1.37
5 Day	pH	6.45 ± 0.01	-	6.62 ± 0.01	-	6.44 ± 0.00	-	6.26 ± 0.02	-
	SS (mg/L)	190.00 ± 10.00	86.20 ± 1.48	150.00 ± 0.00	89.12 ± 0.75	143.33 ± 15.28	89.56 ± 1.83	140.00 ± 0.00	89.85 ± 0.70
	BOD (mg/L)	$1,800 \pm 259.81$	76.34 ± 2.96	$1,900 \pm 173.21$	75.00 ± 1.92	$1,200 \pm 150.00$	84.24 ± 1.40	$1,500 \pm 150.00$	80.18 ± 2.85
	Phosphate (mg/L)	0.27 ± 0.0005	15.66 ± 1.25	0.30 ± 0.0002	6.23 ± 1.52	0.29 ± 0.0003	9.39 ± 1.44	0.28 ± 0.0002	10.31 ± 1.42
7 Day	pH	6.76 ± 0.00	-	7.08 ± 0.02	-	6.72 ± 0.00	-	6.33 ± 0.01	-
	SS (mg/L)	40.00 ± 0.00	97.10 ± 0.20	80.00 ± 10.00	94.17 ± 1.12	36.67 ± 5.77	97.34 ± 0.46	43.33 ± 5.77	96.87 ± 0.24
	BOD (mg/L)	$1,750 \pm 229.13$	76.87 ± 3.93	$1,850 \pm 86.60$	75.64 ± 1.11	$1,100 \pm 173.21$	85.47 ± 2.67	$1,400 \pm 86.60$	81.52 ± 2.04
	Phosphate (mg/L)	0.24 ± 0.0005	25.78 ± 1.05	0.25 ± 0.0005	21.90 ± 1.09	0.23 ± 0.0005	28.96 ± 1.00	0.20 ± 0.0002	35.48 ± 1.00

เมื่อนำผลการศึกษาจากชุดการทดลองที่ 1 ดัง Table 2,3 โดยนำผลค่าประสิทธิภาพการบำบัดมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน พบว่า ประสิทธิภาพของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด คือ ผักตบชวา กกกลม และพุทธรักษา ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ 3 ชั่วโมงระยะเวลา (3, 5 และ 7 วัน) สามารถบำบัดของแอมโมเนียไนโตรเจน บีโอดี และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 88.66-97.34, 72.33-85.47 และ 6.23-35.48 ตามลำดับ ส่วนผลของการไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสีย สามารถบำบัดของแอมโมเนียไนโตรเจน บีโอดี และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 82.40-96.62, 74.31-

85.47 และ 8.90-69.41 ตามลำดับ โดยพืชที่มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดในทั้ง 2 สภาวะ คือ กกกลม โดยพบว่าในสภาวะที่ปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 66.78 และ 71.63 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดที่มีการปรับและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียพบว่ามีความแตกต่างกัน โดยพืชน้ำทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าการบำบัดโดยไม่มีพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดัง Table 4

Table 3 water quality and efficiency of each types of local aquatic plants in treating wastewater without pH adjustment

HRT	Parameters	control pond		water hyacinth pond		round papyrus pond		canna pond	
		Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)	Effluent	Treatment efficiency (%)
3 Day	pH	5.97±0.00	-	6.18±0.01	-	6.02±0.01	-	6.20±0.01	-
	SS (mg/L)	246.67±15.28	82.16±0.27	150.00±10.00	89.16±0.03	126.67±5.77	90.83±0.34	243.33±15.28	82.40±0.22
	BOD (mg/L)	2,450±86.60	67.68±2.68	1,700±86.60	77.62±1.07	1,800±150.00	76.23±3.03	1,600±229.13	78.85±3.85
	Phosphate (mg/L)	0.32±0.0050	14.77±1.38	0.27±0.0003	8.90±1.51	0.29±0.0003	12.38±1.40	0.28±0.0004	11.31±1.48
5 Day	pH	5.97±0.01	-	6.26±0.01	-	5.93±0.01	-	6.07±0.00	-
	SS (mg/L)	220.00±10.00	84.03±1.55	180.00±10.00	86.91±1.62	110.00±10.00	92.04±0.65	120.00±0.00	91.30±0.60
	BOD (mg/L)	1,900±173.21	75.00±1.92	1,950±150.00	74.31±2.27	1,750±229.13	77.03±2.09	1,550±86.60	79.59±1.03
	Phosphate (mg/L)	0.28±0.0003	33.95±1.04	0.21±0.0004	15.76±1.40	0.27±0.0003	24.26±1.05	0.24±0.0005	33.94±1.14
7 Day	pH	6.29±0.01	-	6.64±0.00	-	6.53±0.01	-	6.47±0.01	-
	SS (mg/L)	53.33±5.77	96.12±0.68	80.00±20.00	94.23±1.26	46.67±5.77	96.62±0.49	56.67±5.77	95.89±0.52
	BOD (mg/L)	1,500±150.00	80.24±2.13	1,700±229.13	77.62±2.92	1,200±300.00	84.29±3.38	1,100±86.60	85.47±1.85
	Phosphate (mg/L)	0.21±0.0006	55.17±0.56	0.14±0.0005	35.68±0.92	0.20±0.0005	69.41±0.71	0.10±0.0010	68.78±0.49

Table 4 Comparing the efficiency of aquatic plants in treating wastewater from a khanom jeen factory

HRT	Treatment efficiency (%)	control pond		water hyacinth pond		round papyrus pond		canna pond		p-value	
		pH adjustment	Without pH adjustment	pH adjustment	Without pH adjustment	pH adjustment	Without pH adjustment	pH adjustment	Without pH adjustment	pH adjustment	Without pH adjustment
3 Day	SS	82.34 B	82.16 C	88.66 A	89.16 B	89.38 A	90.83 A	89.88 A	82.40 C	0.0001***	0.0000***
	BOD	71.69 C	67.68 B	72.33 BC	77.62 A	74.36 A	76.23 A	78.90 A	78.85 A	0.0009***	0.0052**
	Phosphate	12.01 A	14.77 A	8.66 B	8.90 C	7.16 B	12.38 AB	8.53 B	11.31 BC	0.0143*	0.0071**
5 Day	SS	86.20 B	84.03 C	89.12 A	86.91 B	89.60 A	92.04 A	89.85 A	91.30 A	0.0285*	0.0001***
	BOD	76.34 BC	75.00 B	75.00 C	74.31 B	84.24 A	77.03 AB	80.18 AB	79.59 A	0.0056**	0.0345*
	Phosphate	15.66 A	33.95 A	6.23 C	15.76 C	9.39 B	24.26 B	10.31 B	33.94 A	0.0003***	0.0000***
7 Day	SS	97.10 B	96.12 A	94.17 A	94.23 B	97.34 A	96.62 A	96.87 A	95.89 A	0.0008***	0.0303*
	BOD	76.87 BC	80.24 BC	75.64 C	77.62 C	85.47 A	84.29 AB	81.52 B	85.47 A	0.0023**	0.0222*
	Phosphate	25.78 C	55.17 B	21.90 D	35.68 C	28.96 B	69.41 A	35.48 A	68.78 A	0.0000***	0.0000***

At each HRT of each parameter, means in the same row followed by different uppercase letters are significantly different at $p < 0.05$ (LSD).

Table 5 Water quality and efficiency of the wastewater treatment system using aquatic plants for treating wastewater from khanom jeen factory

Parameters	Influent	Effluent	Treatment efficiency (%)
1. pH	3.05±0.01	3.99±0.01	-
2. SS (mg/L)	3,039±82.88	400±45.95	86.96±1.46
3. BOD (mg/L)	9,097±150.00	3,898±91.00	57.33±1.21
4. COD (mg/L)	20,637±10.00	4,764±4.00	76.24±0.03
5. Total Nitrogen (mg/L)	14.06±0.01	7.06±0.01	48.98±0.02
6. Phosphate (mg/L)	2.897±2.74	2.140±3.24	24.04±2.66

2. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน

จากผลการทดลองชุดที่ 2 คุณภาพน้ำเข้าระบบบำบัดของพืชน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน เมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัด พบว่า คุณภาพน้ำออกของทุกพารามิเตอร์มีค่าลดลง แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำออกเพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสเฟต เท่ากับร้อยละ 86.96, 57.33, 76.24, 48.98 และ 24.04 ตามลำดับ ดัง Table 5 เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำเข้าและน้ำออกของแต่ละพารามิเตอร์เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้ามีค่าความเป็นกรดสูง อยู่ในช่วง 2.93 – 3.31 เฉลี่ยเท่ากับ 3.05 เมื่อผ่านการบำบัด มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.44-4.80 เฉลี่ยเท่ากับ 3.99 ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 2,157-3,850 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 3,039 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 233-563 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 4,650-9,750 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 9,097 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 13,104-23,646 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 20,637 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดค่าบีโอดีลดลงอยู่ในช่วง 2,725-4,940 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่า 3,898 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีลดลงอยู่ในช่วง 3,968-5,329 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่า 4,764 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนโตรเจนน้ำเข้าอยู่ในช่วง 11.67-19.74 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 14.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.750-5.078 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 2.897 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดค่าไนโตรเจนมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 8.63-5.69 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 7.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าฟอสเฟตลดลงอยู่ในช่วง 0.610-3.512 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยเท่ากับ 2.140 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง Figure 5

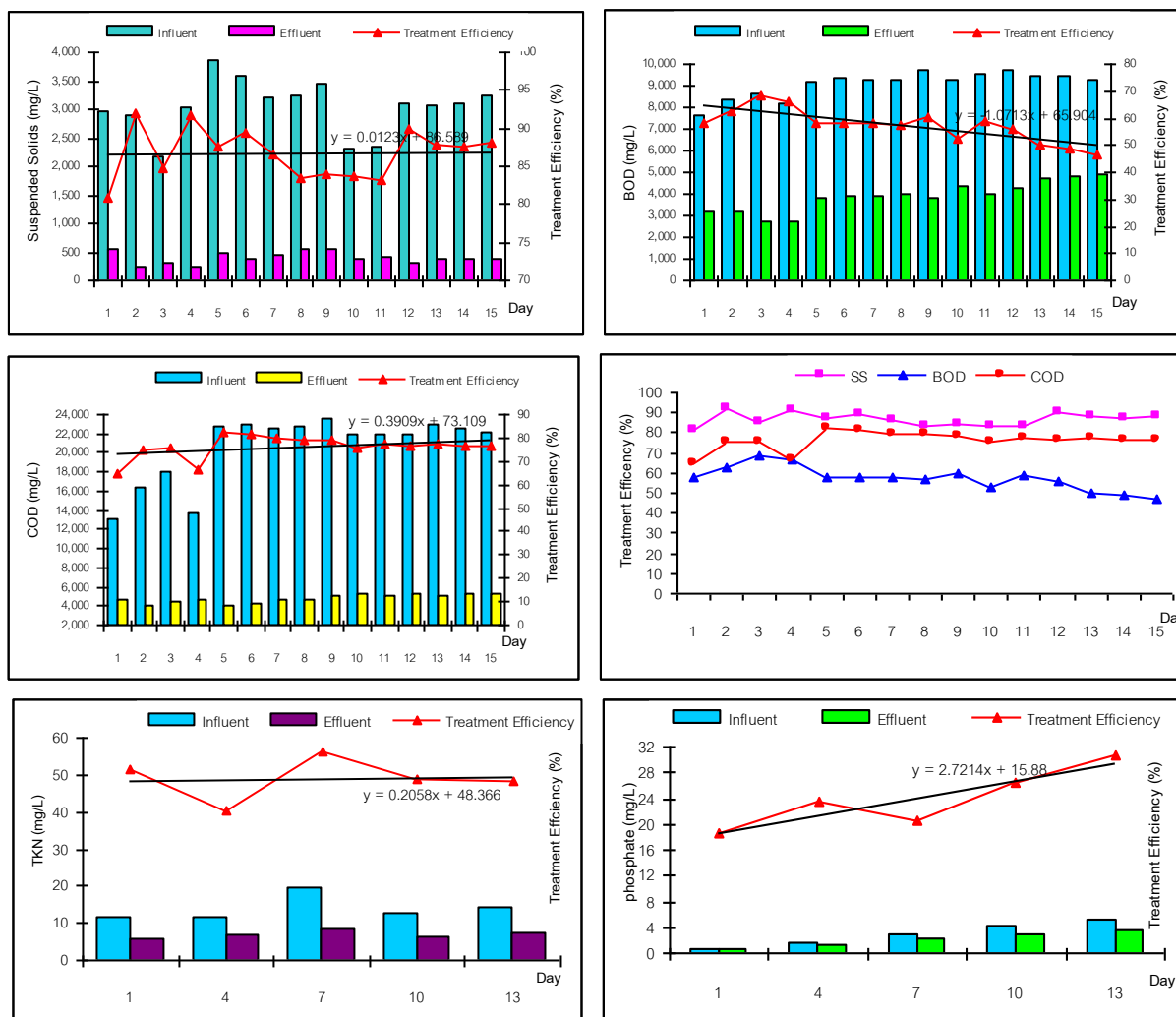


Figure 5 Quality of influent and effluent water, and efficiency of each types of aquatic plants in treating wastewater from khamom jeen factory

Discussion

จากผลการทดลองชุดที่ 1 ได้ทำการศึกษาลักษณะของการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพืชน้ำ 3 ชนิด เนื่องจากน้ำเสียมีความเป็นกรดสูงโดยมีค่า pH เท่ากับ 3.51 ซึ่งเกิดจากการหมักแป้งและการแช่ล้าง เมื่อทำการทดลองในบ่อควบคุม บ่อผักตบชวา บ่อกกกกลม และบ่อพุทธรักษา ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน ค่า pH ของน้ำออกที่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างทุกบ่อมีค่าเพิ่มขึ้น พืชเจริญเติบโตได้ดี มีบ่อผักตบชวาที่ 5 วัน พืชเริ่มเหี่ยวและตายที่เวลา 7 วัน ส่วนบ่อที่ไม่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสีย ทุกบ่อมีค่า pH เพิ่มขึ้น พืชเจริญเติบโตได้ดี มีบ่อผักตบชวาที่ 3 วัน พืชเริ่มเหี่ยวและตายที่เวลา 5 วัน เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชลอยน้ำที่มีรากพืชช่วยดูดสารอาหารในน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่เมื่อทำการทดลองในบ่อปูนซีเมนต์

ขนาดจำกัดทำให้ผักตบชวาที่มีการเจริญเติบโตและแพร่กระจายอย่างรวดเร็วในช่วงกลางคืนพืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และช่วงเวลาทดลองน้ำเสียมีการระเหยออกไปเรื่อยๆ พืชจึงไม่สามารถเจริญเติบโตและเกิดการเหี่ยวเฉาลงในเวลา 5-7 วัน ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของทุกบ่อการทดลองที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เมื่อระยะเวลาเก็บน้ำเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยดีขึ้น เนื่องจากของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพอาศัยกลไกการกรองโดยรากพืช (Pollution Control Department, 2012) รากฝอยของต้นกกกลม พุทธรักษาและผักตบชวาที่แผ่กระจายจะช่วยในการกรองของแข็งแขวนลอย ส่วนค่าบีโอดีในน้ำเสียจะมีค่าสูงเพราะมีสารอินทรีย์จำพวกแป้งและข้าวที่มาจากทุกๆ ขั้นตอนการผลิต ซึ่งแป้งจะมีปริมาณสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์สูงส่งผลให้ค่าบีโอดีมีปริมาณสูงด้วย (Pratum, 2016) เมื่อทดลองกับน้ำเสียที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ทุกบ่อทดลองค่าบีโอดีลดลง เนื่องจากใช้กลไกของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Klamjek, 2009) และค่าฟอสเฟตของน้ำเสียที่เกิดจากการนำผงแป้งมาต้มเพื่ออุ่นทำแป้งขนมจีน ทำให้มีธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในรูปฟอสเฟต เมื่อทดลองกับน้ำเสียโดยที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ทุกบ่อมีค่าฟอสเฟตลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บน้ำเพิ่มขึ้นพืชทั้งสามชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสเฟตดีขึ้น เนื่องจากพืชจะดูดสารอาหารที่มีในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียที่ระยะเวลาเก็บน้ำแตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ส่วนผลการทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน 2 ชนิด ได้แก่ ต้นกกกลมและพุทธรักษา พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้ามีความเป็นกรดสูงโดยมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 3.05 เมื่อเดินระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน ค่า pH น้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.99 จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของพืชน้ำมีการปรับตัวโดยมีความสูงและการแตกใบเพิ่มขึ้น แต่พอผ่านวันที่ 7-9 ใบและลำต้นของต้นพุทธรักษาเริ่มเหี่ยวเฉา บางใบเป็นสีดำตรงกลาง ไม่มีการแตกหน่อเพิ่ม เมื่อเข้าวันที่ 10-15 ใบและลำต้นของต้นพุทธรักษาเริ่มเหี่ยวเฉา แต่ยังไม่ตาย ส่วนต้นกกกลมเจริญเติบโตตามปกติ บางต้นมีการแตกหน่อและมีความสูงเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่น้ำเสียมีความเป็นกรดสูง ดัง Figure 6

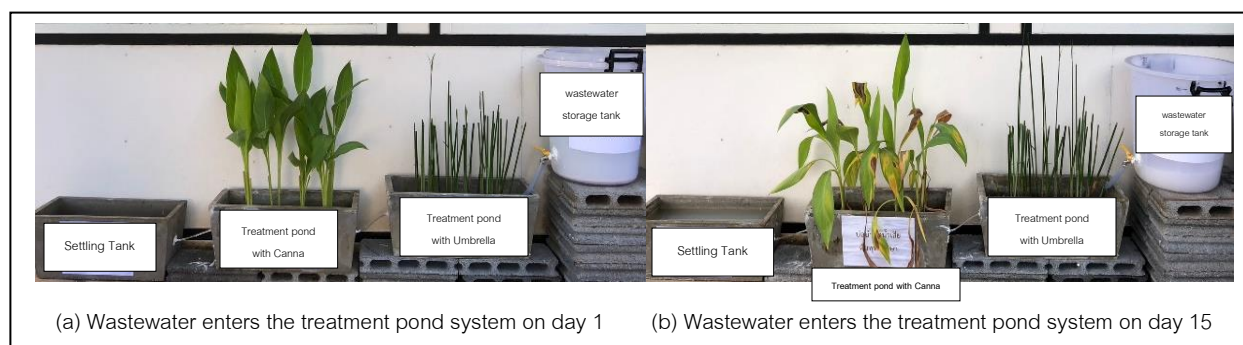


Figure 6 Characteristics of each types of aquatic plants during continuous operation in a wastewater treatment system over a 15-day period

ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีค่าสูงเท่ากับ 3,039 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากมีแป้งสำเร็จรูปที่ละลายอยู่ในน้ำเสียและเกิดเป็นตะกอนแป้งเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เกิดตะกอน เมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดของพืชน้ำแต่ละบ่อค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดมากถึงร้อยละ 86.69 เนื่องจากของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพตั้งแต่การตกตะกอนในบ่อพักน้ำเสีย และมีการปรับอัตราการไหลเฉลี่ยน้อย 14 มิลลิกรัมต่ออนาที ทำให้น้ำเสียค่อยๆ ไหลอย่างช้าๆ จากบ่อตกกมล ไปบ่อพืชรักษาและบ่อพักน้ำทิ้ง ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยจะตกตะกอนในรูปของแป้งและสะสมอยู่บนผิวดินของบ่อแต่ละบ่อ ดัง Figure 7 นอกจากนี้ยังอาศัยกลไกการกรองโดยรากพืชซึ่งรากฝอยของต้นกกกลมและพืชรักษาที่แผ่กระจายจะช่วยในการกรองของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ดี



Figure 7 Suspended solid sedimentation caused by starch accumulates on the soil surface in wastewater treatment ponds

ส่วนค่าบีโอดีและซีโอดีของน้ำมีค่าสูง เนื่องจากมีสารอินทรีย์เจือปนจำพวกแป้งต่างๆ ขึ้นตอนการผลิต และตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างในส่วนของชั้นตอนที่ผ่านมาการต้มเส้นขนมจีนในหม้อน้ำเดือดและน้ำล้างชั้นแรกเพื่อต้องการน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงวัดค่าบีโอดีเท่ากับ 9,097 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีเท่ากับ 20,637 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดของพืชน้ำแต่ละบ่อ ค่าบีโอดีลดลงเท่ากับ 3,898 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 57.33 ค่าซีโอดีลดลงเท่ากับ 4,764 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 76.24 โดยสารอินทรีย์ที่ลดลงส่วนหนึ่งเกิดจากกลไกการกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นตะกอนของแป้งที่ตกอย่างรวดเร็วตั้งแต่ในบ่อพักน้ำเสีย การตกตะกอนสะสมในดินของบ่อตกกมล บ่อพืชรักษา และบ่อพักน้ำทิ้ง ตามลำดับ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ซึ่งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและแหล่งออกซิเจนที่ใช้ในปฏิบัติการกำจัดของเสียโดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ได้มาจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำและปริมาณออกซิเจนจะถูกปล่อยผ่านไปยังรากของพืชและเกิดกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนค่าไนโตรเจนและฟอสเฟตของน้ำเสียเท่ากับ 14.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.897 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการแช่ล้างแป้งสำเร็จรูปที่นำมาทำเส้นขนมจีนเมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดของพืชน้ำแต่ละบ่อ พบว่า ค่าไนโตรเจนลดลงเท่ากับ 7.06 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 48.98 ส่วนค่าฟอสเฟตลดลงเท่ากับ 2.140 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 24.04 เกิดจาก

การที่ต้นกกกลมเป็นพืชที่มีโครงสร้างส่วนเหนือดินขึ้นเหนือน้ำ รากของพืชชนิดนี้สามารถดูดซึมมลสารในรูปสารละลายจากดินและน้ำ ขณะที่ส่วนของลำต้นช่วยในการดูดซับและกรองสารแขวนลอยจึงช่วยลดมลสารในน้ำได้ (Klamjek, 2009) ส่วนต้นพุทธรักษาจะมีลักษณะทั่วไปของพืชที่มีคุณสมบัติพิเศษคือรากฝอยมีลักษณะแผ่กระจาย เป็นที่อยู่และเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ มีใบขนาดใหญ่ชูตั้งฉากรับแสงได้ดี ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง ส่งผลให้พืชมีการดูดซับสารอาหารต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ไปใช้ในการเจริญเติบโต (Pladprom & Yongmanee, 2015)

ดังนั้นจากผลการทดลองการศึกษาการใช้พืชน้ำท่งถิ่นในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่ผลิตในระดับครัวเรือน ถ้าพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดพบว่ายังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด เนื่องจากน้ำเสียมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์และมีความเป็นกรดสูง แต่ถ้าพิจารณาผลจากประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางหรือนวัตกรรมการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนในแต่ละพื้นที่ได้เพราะระบบบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถเพิ่มค่า pH และลดค่าของแข็งแขวนลอย ซีไอดีได้มากถึงร้อยละ 86.96 และ 76.24 ที่สำคัญพืชน้ำสามารถเจริญเติบโตในสภาวะน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูงคือ pH ช่วง 3.05-3.51 ได้

Conclusions

จากการทดลองผลของการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีน โดยใช้พืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักตบชวา กกกลม และพุทธรักษา แบ่งเป็น 4 บ่อ ได้แก่ บ่อควบคุม บ่อผักตบชวา บ่อกกกลม และบ่อพุทธรักษา ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 7 วัน พบว่าพืชสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย บีไอดี และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 82.16-97.34, 67.68-85.47 และ 6.23-69.41 ตามลำดับ โดยพืชที่มีประสิทธิภาพการบำบัดมากที่สุดคือกกกลม เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำแต่ละชนิดที่มีการปรับสภาพและไม่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ส่วนการทดลองประสิทธิภาพของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชน้ำ 2 ชนิด คือ กกกลมและพุทธรักษา ประกอบด้วย 4 บ่อต่อแบบอนุกรม ได้แก่ ถังพักน้ำเสีย บ่อกกกลม บ่อพุทธรักษา และบ่อพักน้ำทิ้ง เติมน้ำบ่อบำบัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 24 ชั่วโมง พบว่าระบบสามารถบำบัดค่าของแข็งแขวนลอย บีไอดี ซีไอดี ไนโตรเจน และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 86.96, 57.33, 76.24, 48.98 และ 24.04 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้พืชน้ำท่งถิ่นในการบำบัดน้ำเสียจากโรงผลิตขนมจีนที่ผลิตในระดับครัวเรือน สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอย ค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ปริมาณสูงไนโตรเจนและฟอสเฟตได้ ที่สำคัญเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียค่าความเป็นกรด-ด่างจากทุกการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Acknowledgments

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่พร้อมทั้งสนับสนุนเครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- Aiamsaart, P., & Naka, S. (2021). *Wastewater Treatment from the Noodles (Khanom Jeen) Flour Factory by Anaerobic Filter Tanks System with Floating Plants* (Bachelor's thesis, Environmental Science). Maha Sarakham : Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)
- Ariyakanon, N. (2018). Water hyacinth and treatment of pollutants in water. *Environmental Journal*, 22(3), 49-55. (in Thai)
- Boonprot, S. (2014). *Treatment of Thai Fermented Rice Noodle Factory Wastewater by Limestone Equalization and Natural Treatment Systems*. (Master's thesis, Environmental Science). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Department of Industrial Works. (2009). *Principles of clean production technology (enhancing production efficiency and pollution prevention) in the rice noodle flour industry* (1st ed.). Bangkok: Department of Industrial Works. (in Thai)
- Klamjek, P. (2009). Role of wetland plants for wastewater treatment. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 37(1), 79-86. (in Thai)
- Muleng, S., & Jijai, S. (2019). *Effect of Thai rice noodle wastewater with rice husk and dung to bio-fertilizer production* (Research report). Yala: Yala Rajabhat University. (in Thai)
- Pladprom, S., & Yongmanee, S. (2015). Performance analysis of *Limnocharis flava* (L.) Buchenau and *Canna indica* L. to TKN removal efficacy of effluent wastewater from Fort Suranaree Hospital, Nakhon Ratchasima. In *Proceedings of the 2nd National Research Conference on "Creativity and Development towards ASEAN Community"* (pp. 128-134). Nakhon Ratchasima: Nakhon Ratchasima College. (in Thai)
- Pollution Control Department. (2012). *Wastewater management manual for households*. Bangkok: Community Wastewater Division, Water Quality Management Bureau. (1st ed.). Bangkok: Pollution Control Department (in Thai)

- Pratum, C. (2016). Influence of High Organic Substances Concentrations in Fermented Rice Noodle (Khanomjeen) Factory Wastewater on Efficiency Wastewater Treatment of *Vetiveria Zizanioides* Nash. and *Cyperus Corymbosus* Rottb. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 36(3), 324-332. (in Thai)
- Rattanapan, W. (2007). *Treatment Condition of Wastewater from Thai Rice Noodle Production*. (Master's thesis, Environmental Engineering). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Sawain, A., Kaipittayakorn, W., & Sujarit, C. (2016). *Modified Anaerobic Baffled Reactor (MABR) Approach and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) for Utilization Wastewater Treatment in Fermented Rice Noodle Factory* (Research report). Songkhla: Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus. (in Thai)
- Somprasert, S., Nilratnisakorn, S., Sarnpra, P., & Podam, S. (2016). Efficiencies of Constructed Wetland Systems Using Native Plants for Treatment of Strong Acidity Wastewater. *Environmental Engineering Journal*, 30(1), 49-57.
- Sonraksa, P., & Changchansri, S. (2022). *Effect of pH Condition Adjustment in wastewater from the Noodles (Khanom Jeen) Flour Factory on Treatment Efficiency of Aquatic Plants* (Bachelor's thesis, Environmental Science). Maha Sarakham: Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)