ประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบการปลูกแบบไร้ดินจำลอง

Efficiency of water hyacinth and water lettuce in a stimulated hydroponic system for domestic wastewater treatment

สุทธิดา พุทไธสง[1], ปวีณา แอบเพชร[1], รวินิภา ศรีมูล[2*]
Sutthida Putthaisong[1], Paweena Aeppeth[1], Rawinipa Srimoon[2*]

Received: 28 September 2021 ; **Revised**: 25 October 2021 ; **Accepted**: 8 November 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยการปลูกแบบไร้ดินจำลอง โดยใช้น้ำเสียจากหอพักใช้เวลาบำบัด 9 วัน ผลการศึกษาพบว่า ผักตบชวาและจอกซึ่งเป็นพืชลอยน้ำสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีโดยเฉพาะความกระด้าง บำบัดได้ร้อยละ 80.26 และ 75.00 แอมโมเนียไนโตรเจน บำบัดได้ร้อยละ 76.18 และ 81.31 ของแข็งละลายน้ำ บำบัดได้ร้อยละ 71.43 และ 63.04 สำหรับผักตบชวาและจอก ตามลำดับ ($p<0.05$) ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด บีโอดี ไขมันและน้ำมัน แบคทีเรียทั้งหมด บำบัดได้ในช่วงร้อยละ 27.07-69.23 และเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำได้ร้อยละ 15.56-17.29 ส่วนของพืชที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือ ระบบรากฝอยและลำต้นในน้ำดูดซับสารอาหาร แร่ธาตุ และดักตะกอนของแข็ง ลำต้นเป็นทางผ่านของแก๊สจากบรรยากาศลงสู่น้ำ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิและความเป็นกรดด่างของน้ำไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากทำการทดลองในโรงเรือนอุณหภูมิจึงไม่เปลี่ยนแปลงมาก ความเป็นกรดด่างของน้ำเสียที่บำบัดแล้วอยู่ในช่วง 6.8-7.0 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน จากผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าการใช้ผักตบชวาและจอกสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีจึงเป็นประโยชน์ในการนำระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินไปใช้บำบัดน้ำเสียภายในชุมชนต่อไป

คำสำคัญ: ผักตบชวา จอก การปลูกพืชแบบไร้ดิน

Abstract

The objective of this research was to investigate the efficiency of water hyacinth and water lettuce, which are floating plants, in a stimulated hydroponic system for domestic wastewater treatment using a university's dormitory wastewater for 9 days. The results showed that both plants could treat wastewater efficiently, especially water hardness (% treatment=80.26 and 75.00), ammonia nitrogen (% treatment=76.18 and 81.31) and total dissolved solid (% treatment=71.43 and 63.04) for water hyacinth and water lettuce, respectively ($p<0.05$). The percentage of treatment of phosphate phosphorus, total solid, total suspended solid, biochemical oxygen demand (BOD), fat/oil/grease (FOG) and total bacteria were in the range 27.07-69.23%. Dissolved oxygen was increased by 15.56-17.29%. The process of rhizofiltration of these plants played an important role in the reduction of nutrients, minerals and solids. Plants also transport atmospheric and photosynthetic oxygen to the roots and release oxygen to water. However, water hyacinth

[1] นักศึกษา, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 22210
[2] อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 22210
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน: rawinipa_sr@rmutto.ac.th
[1] Student, Department of Applied Science and Biotechnology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, Chanthaburi, 22210
[2] Lecturer, Department of Applied Scienceand Biotechnology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, Chanthaburi, 22210
* Correspondingauthor: rawinipa_sr@rmutto.ac.th

and water lettuce did not affect the temperature and pH, because the experimental models were established in a greenhouse. The pH of wastewater was not significantly different ($p>0.05$). The pH of treated water was between 6.8-7.0, which did not exceed the standard value. In conclusion, water hyacinth and water lettuce were useful for domestic wastewater treatment and appropriate to local operation.

Keywords: Water Hyacinth, Water Lettuce, Hydroponics

บทนำ

น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater) มีที่มาจากการทำกิจกรรมประจำวัน เช่น การซักล้าง การประกอบอาหาร ห้องน้ำ สิ่งที่ปนเปื้อนส่วนใหญ่จึงเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ เศษอาหาร เชื้อโรค สิ่งปฏิกูล ผงซักฟอก ไขมันและน้ำมัน และขยะต่างๆ น้ำทิ้งชุมชนมีค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD) ประมาณ 150-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6-8 สารแขวนลอยประมาณ 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ถึงแม้จะเป็นน้ำทิ้งที่มีสารมลพิษไม่มาก แต่เนื่องจากมีปริมาณมาก และมีแหล่งกำเนิดอยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้ยากต่อการควบคุมแก้ไข การบำบัดน้ำเสียชุมชนทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ การปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) เป็นวิธีทางชีวภาพวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ เนื่องจากน้ำเสียชุมชนมักไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสารพิษจึงไม่เป็นอันตรายกับพืชในระบบ การปลูกพืชแบบไร้ดินเป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารพืช มีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยการปลูกพืชที่เจริญลอยอยู่ระดับน้ำหรือพืชลอยน้ำ (Floating plants) ซึ่งมีรากและลำต้นลอยอยู่ในน้ำ พืชลอยน้ำมักมีส่วนหนึ่งส่วนใดเปลี่ยนไปเป็นทุ่นเพื่อพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ เช่น ผักตบชวามีส่วนของก้านใบพองตัวเป็นทุ่น ผักบุ้งมีส่วนลำต้นที่ภายในกลวงเป็นช่องอากาศใหญ่ ช่วยให้ลำต้นเลื้อยทอดลอยไปตามผิวน้ำได้ เป็นต้น ส่วนของพืชที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย คือ รากและลำต้นที่อยู่ในน้ำ ซึ่งจะดูดซับสารอาหาร สารพิษ แร่ธาตุ และดักตะกอนของแข็งในน้ำ ส่วนของลำต้นเป็นทางผ่านของแก๊สจากบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำ ในการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำ 2 ชนิด คือ ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) และจอก (*Pistia stratiotes* L.) ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยการปลูกแบบไร้ดิน เนื่องจากพืชทั้งสองชนิดเป็นพืชลอยน้ำที่ขึ้นได้ในทุกสภาพน้ำแม้ในน้ำเสีย เจริญเติบโตเป็นกลุ่มแน่น ลำต้นลอยน้ำ มีระบบรากเป็นแบบรากฝอยรากยาวจำนวนมากทำหน้าที่ดูดซับและเป็นตัวกรอง ทำให้ของแข็ง สารแขวนลอยต่างๆ และสารมลพิษที่ปนอยู่ในน้ำถูกดูดซับหรือกรองเอาไว้ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่รากจะช่วยดูดสารมลพิษไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากพืชยังดูดสารอาหารและแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำเพื่อการเจริญเติบโตและลำเลียงไปยังใบเพื่อการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงจึงสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ จากการศึกษาพบว่าผักตบชวาและจอกมีศักยภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียชุมชนที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักรวมทั้งยังสามารถดูดซับสารพิษไว้ได้ดีโดยกระบวนการดูดซับจากรากสู่ใบ (Anudechakul *et al*., 2015 ; Nizam *et al*., 2020) ดังนั้นผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินไปประยุกต์ใช้กับบำบัดน้ำเสียภายในชุมชน ซึ่งเป็นการบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและไม่ยุ่งยาก ชุมชนสามารถดำเนินระบบได้เอง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 4 กลุ่มทดลอง (Treatments) กลุ่มทดลองที่ 1 คือ วันที่ 0 น้ำก่อนการบำบัด กลุ่มทดลองที่ 2 วันที่ 0-3 น้ำที่ผ่านการบำบัดไปแล้ว 3 วัน กลุ่มทดลองที่ 3 วันที่ 4-6 น้ำที่ผ่านการบำบัดไปแล้ว 6 วัน และ กลุ่มทดลองที่ 4 วันที่ 7-9 น้ำที่ผ่านการบำบัดไปแล้ว 9 วัน แต่ละกลุ่มทดลองเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ตัวอย่าง เพื่อเพื่อวัดค่าสังเกต

2. การเตรียมพืชในระบบ

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้พืชลอยน้ำ (Floating plants) มีรากห้อยลอยอยู่ในน้ำ จำนวน 2 ชนิด คือ ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) และจอก (*Pistia stratiotes* L.) (Figure 1) โดยคัดเลือกให้มีขนาดใกล้เคียงกันจากบ่อน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ต้นผักตบชวาขนาดต้นกว้างประมาณ 11 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ความยาวรากเฉลี่ยประมาณ 4 เซนติเมตร และจอกขนาดต้นกว้างประมาณ 13 เซนติเมตร สูงประมาณ 24 เซนติเมตร รากยาวเฉลี่ย 6 เซนติเมตร

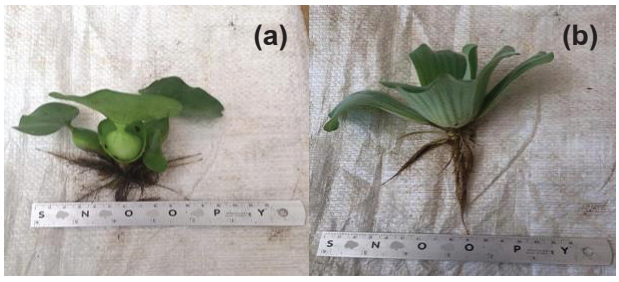

Figure 1 Floating plants using in the study
(a) Water hyacinth and (b) Water lettuce

3. การเตรียมบ่อสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบการปลูกพืชไร้ดินจำลอง (Stimulated hydroponics)

เตรียมอ่างพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร จำนวน 2 อ่าง และแผ่นโฟมวงกลมหนา 2.5 เซนติเมตร เจาะรูสำหรับปลูกพืชเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 33 รู (Figure 2) ซึ่งกำหนดระยะห่างระหว่างต้นไม่ให้ชิดกันเกินไป จากจำนวนต้นและพื้นที่อ่างคำนวณได้ความหนาแน่นของต้นพืชเท่ากับ 65 ต้นต่อตารางเมตร

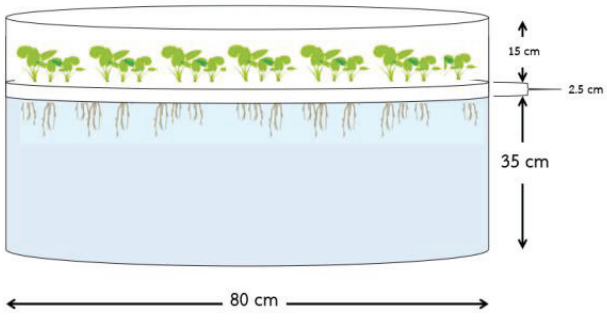

Figure 2 Stimulated hydroponic System

น้ำเสียที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี โดยใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด ระดับน้ำสูง 35 เซนติเมตรจากก้นอ่าง และนำแผ่นโฟมที่ทำการเจาะรูแล้ว 33 รู มาวางห่างจากปากอ่าง 15 เซนติเมตร นำผักตบชวาและจอกที่เตรียมไว้ชนิดละ 33 ต้น ใส่ลงในแผ่นโฟมวงกลมที่เจาะรูไว้แล้วสำหรับปลูกผักตบชวา 1 อ่าง และจอก 1 อ่าง จากแผนการทดลองจึงทำการขังน้ำเสียไว้เป็นเวลา 9 วัน สาเหตุที่กำหนดเวลา 9 วัน เนื่องจากน้ำเสียตัวอย่างที่นำมาทดลองนี้นำมาจากบ่อพักน้ำเสียของหอพักซึ่งมีการกำจัดวัชพืชในบ่อทุกๆ 10 วัน จึงใช้เวลาขังน้ำเสียในระบบ 9 วัน และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 3 วัน มาตรวจวัดคุณภาพน้ำตามเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้แก่ ของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solid, TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid, TDS) ใช้วิธี Gravimetric, อุณหภูมิวัดด้วย Thermometer, ความเป็นกรดด่าง (pH) วัดด้วย pH meter, ความกระด้างของน้ำใช้วิธี EDTA titrimetric, ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO) ใช้วิธี Azide modification of Iodometric method, บีโอดี (Biological oxygen demand, BOD) ใช้วิธี Azide modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน, ไขมันและน้ำมัน (Fat oil and grease) ใช้วิธี Separatory funnel extraction, ฟอสเฟตฟอสฟอรัส (Phosphate phosphorus) ใช้วิธี Ascorbic acid, แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia nitrogen) ใช้วิธี Phenate และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacteria) ใช้วิธี Standard plate count

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test กำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับ $p<0.05$ รายงานผลการวิจัยเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD.)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบการปลูกแบบไร้ดินจำลอง ผลการทดลองแสดงใน Table 1 และ Figure 3 ส่วนการเพิ่มออกซิเจนละลายแสดงใน Table 2

Table 1 Water qualities from the stimulated hydroponic system using water hyacinth and water lettuce (n=3)

Parameters	Plants	Days				% treatment
		0	3	6	9	
TS (mg/L)	water hyacinth	1288.00±262.41^{a}	851.33±43.92^{b}	621.33±255.21^{c}	476.00±171.10^{d}	63.04
	water lettuce	1288.00±262.41^{a}	656.67±291.70^{b}	491.33±232.65^{c}	438.67±78.53^{d}	65.94
TSS (mg/L)	water hyacinth	142.67±18.58^{a}	120.00±15.59^{b}	91.33±14.01^{c}	73.33±12.37^{d}	48.60
	water lettuce	142.67±18.58^{a}	124.67±12.63^{b}	112.67±11.36^{c}	73.33±13.84^{d}	48.60
TDS (mg/L)	water hyacinth	746.67±32.76^{a}	454.67±70.96^{b}	360.67±44.07^{c}	213.33±63.88^{d}	71.43
	water lettuce	746.67±32.76^{a}	851.33±43.92^{b}	621.33±255.21^{c}	476.00±171.10^{d}	63.04
Water hardness ($mgCaCO_3/L$)	water hyacinth	32.20±8.46^{a}	11.44±2.67^{b}	8.05±1.91^{c}	6.36±1.39^{d}	80.26
	water lettuce	32.20±8.46^{a}	9.74±1.91^{b}	7.62±2.27^{d}	8.05±3.74^{c}	75.00
BOD (mg/L)	water hyacinth	104.00±36.66^{a}	96.00±24.00^{b}	80.00±13.86^{c}	46.00±10.39^{d}	55.77
	water lettuce	104.00±36.66^{a}	80.00±27.71^{b}	56.00±27.71^{c}	32.00±13.86^{d}	69.23
Fat,oil,grease (FOG) (mg/L)	water hyacinth	6050.00±1409.61^{a}	7000.00±1839.57^{b}	4700.00±1031.50^{c}	2966.67±564.51^{d}	50.96
	water lettuce	6050.00±1409.61^{a}	4333.33±500.67^{b}	3466.67±307.68^{c}	2650.00±151.66^{d}	56.20
PO_4^{3-}-P (mg/L)	water hyacinth	41.16±4.97^{a}	39.07±17.07^{b}	32.49±5.19^{c}	21.18±0.59^{d}	48.54
	water lettuce	41.16±4.97^{a}	39.03±17.16^{b}	31.58±4.38^{c}	19.76±0.86^{d}	51.99
NH_3-N (mg/L)	water hyacinth	201.65±5.14^{a}	105.35±34.38^{b}	59.12±9.69^{c}	48.04±1.94^{d}	76.18
	water lettuce	201.65±5.14^{a}	80.48±29.92^{b}	57.67±17.85^{c}	37.68±5.14^{d}	81.31
TB (CFU/mL)	water hyacinth	1.81×10^{8}±8485281.4^{a}	1.40×10^{8}±7071067.8^{b}	1.27×10^{8}±8485281.4^{d}	1.32×10^{8}±5656854.2^{c}	27.07
	water lettuce	1.81×10^{8}±8485281.4^{a}	1.68×10^{8}±11313708.8^{b}	1.32×10^{8}±16970562.7^{c}	1.07×10^{8}±4242640.7^{d}	40.88

The different superscript letters ($^{a, b, c, d}$) in each rows showed the significant differences ($p<0.05$) TS=total solid, TSS=total suspended solid, TDS=total dissolved solid, BOD=Biochemical oxygen demand, PO_4^{3-}P=phosphate phosphorous, NH_3-N=ammonia nitrogen, TB=total bacteria

Table 2 Dissolved oxygen (DO) in the stimulated hydroponic system using water hyacinth and water lettuce (n=3)

Parameters	Plant	Days				% increase
		0	3	6	9	
DO (mg/L)	water hyacinth	3.47±0.46^{a}	1.87±0.46^{d}	2.41±0.02^{c}	2.87±0.58^{b}	17.29
	water lettuce	3.47±0.46^{a}	1.61±0.02^{d}	2.67±0.46^{c}	2.93±0.46^{b}	15.56

The different superscript letters ($^{a, b, c, d}$) in each rows showed the significant differences ($p<0.05$)

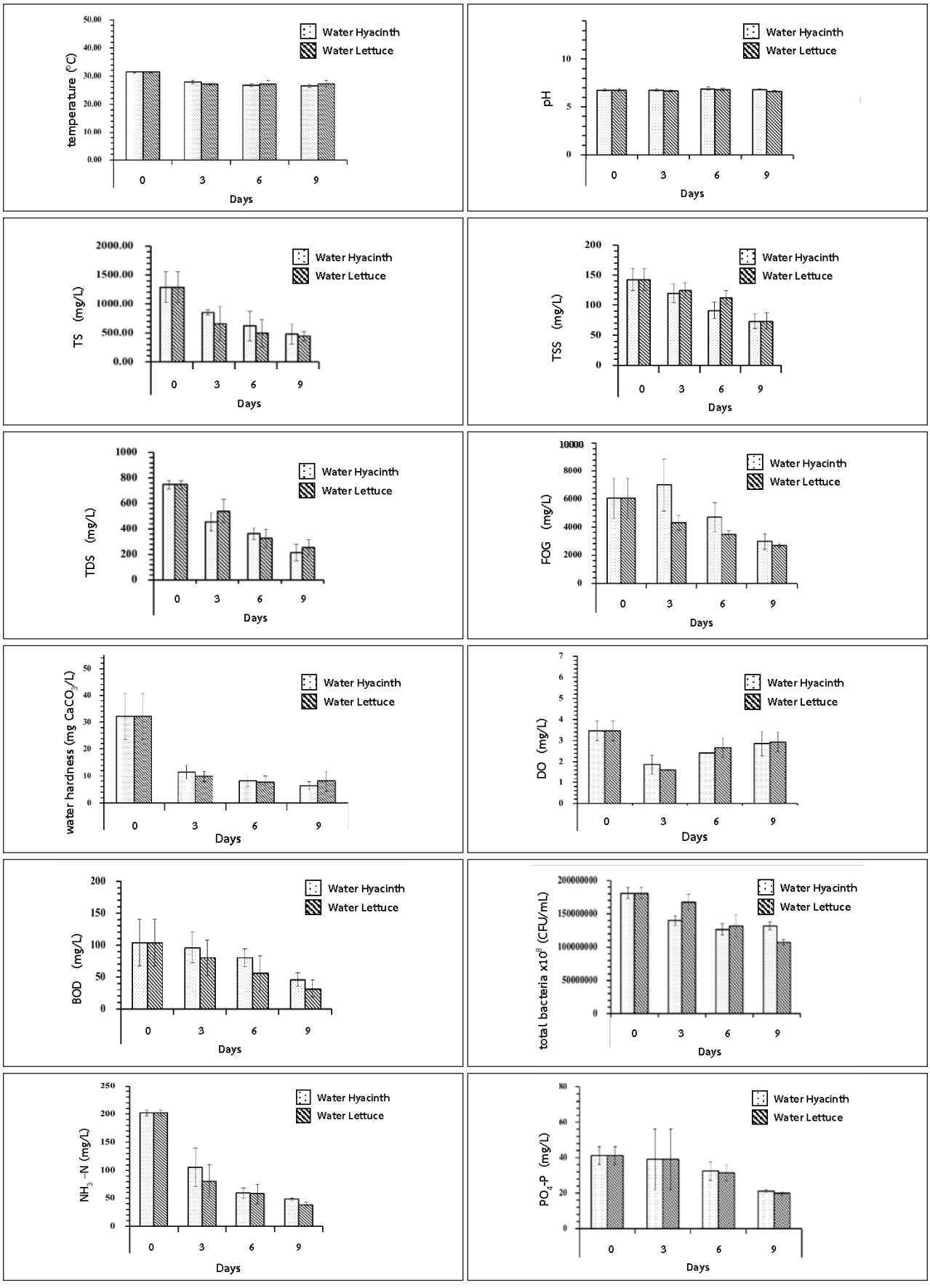

Figure 3 Water qualities from the stimulated hydroponic system
(TS=total solid, TSS=total suspended solid, TDS=total dissolved solid, FOG=fat, oil and grease, DO=dissolved oxygen, BOD=Biochemical oxygen demand, PO_4^{3-}-P=phosphate phosphorous, NH_3-N=ammonia nitrogen)

สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการทดลองพบว่า จอกสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ดีที่สุด ในขณะที่ผักตบชวาลดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้ดีกว่า แต่ทั้งผักตบชวาและจอกสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ดีไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) พืชทั้งสองชนิดเป็นพืชลอยน้ำมีระบบรากแขนงและรากฝอยแตกออกจากโคนต้นจำนวนมากเปรียบได้กับวัสดุพรุนทำหน้าที่กรองของแข็งในน้ำได้ดี นอกจากนี้ ยังสามารถลดความกระด้างน้ำได้สูงถึงร้อยละ 75.00-80.26 เนื่องจากพืชนำแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Wada, 2019) เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันและน้ำมัน พบว่า ทั้งผักตบชวาและจอกสามารถลดค่าไขมันและน้ำมันได้ประมาณร้อยละ 50 เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้มีปริมาณไขมันและน้ำมันเริ่มต้นค่อนข้างสูงจึงทำให้การบำบัดไขมันและน้ำมันได้ไม่ดีเท่าที่ควร

น้ำเสียชุมชนจะมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าบีโอดีจึงเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ จากการทดลองพบว่าผักตบชวามีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้สูงกว่าจอก (Table 2) อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 0 มีการใช้ปั๊มน้ำสูบน้ำขึ้นมาเพื่อทำการบำบัดซึ่งอาจมีฟองอากาศปนลงไปในน้ำมาก ทำให้ผลการศึกษาในวันที่ 3 มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงเมื่อเทียบกับวันแรก แต่หลังจากบำบัดไปในวันที่ 6 และ 9 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการขนส่งแก๊สออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงและการดึงออกซิเจนจากบรรยากาศส่งผ่านใบ ลำต้น ลงสู่ราก และปลดปล่อยออกสู่แหล่งน้ำทำให้ออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าบีโอดีลดลงด้วย

ในแง่ของสารอาหารสำคัญของพืช ได้แก่ แอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต พบว่า จอกมีประสิทธิภาพลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตได้สูงกว่าผักตบชวา ทั้งนี้เนื่องจากจอกที่ใช้มีขนาดต้นใหญ่กว่าผักตบชวา โดยมีความกว้างประมาณ 13 เซนติเมตร สูงประมาณ 24 เซนติเมตร รากยาวเฉลี่ย 6 เซนติเมตร ในขณะที่ผักตบชวาที่ใช้ต้นกว้างประมาณ 11 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ความยาวรากเฉลี่ยประมาณ 4 เซนติเมตร และจอกมีความหนาของกลุ่มรากฝอยมากกว่าจึงทำให้มีการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Mustafa and Hayder (2015) ซึ่งทดลองปลูกจอกในระบบไฮโดรโปนิกส์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยเป็นระบบบำบัดขั้นที่สาม พบว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดที่ปลูกจอกในเวลาเพียง 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณฟอสเฟตฟอสฟอรัส แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน ได้สูงถึงร้อยละ 81.2, 88.7 และ 83.6 ตามลำดับ Nizam *et al*. (2020) ก็พบว่า การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้จอกสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอย ฟอสเฟต และแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 98, 89 และ 78 ตามลำดับ เมื่อขังน้ำเสียไว้เป็นเวลา 2 วัน ทั้งนี้พืชลอยน้ำในระบบการปลูกแบบไร้ดินมีลักษณะการดูดซึมธาตุอาหารทางรากได้รวดเร็ว เนื่องจากรากพืชที่จุ่มอยู่ในน้ำจะดูดธาตุอาหารที่อยู่อย่างอิสระโดยไม่มีแรงดึงจากเม็ดดินมาหน่วงการไหลของน้ำเข้าสู่รากพืชจึงสามารถดูดซึมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปสะสมที่บริเวณยอดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี (Valipour *et al*., 2015)

อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำเสียในระบบไร้ดิน ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจาก pH ก่อนและหลังบำบัดมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าอยู่ในช่วง 6.8-7.0 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) และอุณหภูมิแต่ละวันไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 26.50-31.45 องศาเซลเซียส เนื่องจากทำการทดลองในโรงเรือน อุณหภูมิน้ำจึงขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศในแต่ละวัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Keeratiurai (2013) ซึ่งพบว่า การบำบัดน้ำเสียโดยพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

สำหรับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด พบว่า แบคทีเรียทั้งหมดในอ่างที่ปลูกจอกลดลงมากกว่าอ่างที่ปลูกผักตบชวา (ลดลงร้อยละ 40.88 และร้อยละ 27.07 ตามลำดับ) แต่ถือว่าบำบัดได้ค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากน้ำเสียในระบบการบำบัดมีฟองและมีกลิ่นเหม็นมาก หรือเวลาที่ใช้บำบัดน้อยเกินไป แต่จากการศึกษาเรื่องระยะเวลาการขังน้ำเสียพบว่า ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับ Anudechakul *et al*. (2015) ที่พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดซับสารพิษคลอไพริฟอสได้จากรากสู่ใบได้สูงสุดภายในเวลา 8 วัน ในขณะที่ Xiuxiu *et al*. (2016) ก็พบว่า การกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หญ้าไรย์ร่วมกับเบนโทไนต์เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ในระบบไฮโดรโปนิกส์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียได้สูงถึงร้อยละ 92.5 โดยใช้เวลาบำบัด 6 วัน ซึ่งจะเห็นว่าการศึกษาที่กล่าวมามีเวลาขังน้ำเสียในระบบใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้ในการบำบัดของการศึกษาในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม ถ้าน้ำเสียนั้นมีปริมาณมาก การใช้พืชในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินอาจเพิ่มระยะเวลาขังน้ำเสียให้นานขึ้น และหากน้ำเสียนั้นมีสารพิษปนเปื้อนก็ควรมีระบบการบำบัดน้ำเสียระบบอื่น เช่น การเติมสารเคมีกำจัดสารพิษออกไปก่อน เป็นต้น

จากผลการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ผักตบชวาและจอกมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบการ

ปลูกแบบไร้ดินหรือระบบไฮโดรโปนิกส์ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชน เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ วิธีการไม่ยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถพัฒนาระบบการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ดินนี้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือใช้การบำบัดร่วมกับวิธีการอื่น เช่น การใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาตินำมาเป็นวัสดุกรอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัด อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลที่ได้จากการศึกษานี้เทียบกับค่าเกณฑ์กำหนดสูงสุดตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งของอาคารประเภทต่างๆ ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ซึ่งหอพักจัดอยู่ในอาคารประเภท ค. หรือหอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง พบว่าค่า pH, ค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าบีโอดี (ของการบำบัดด้วยจอก) มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ของแข็งแขวนลอยและไขมันและน้ำมัน มีค่าเกินมาตรฐาน ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะว่าควรมีการใช้ระบบบำบัดอื่นร่วมกับการบำบัดด้วยการปลูกพืชแบบไร้ดิน เช่น การมีระบบบำบัดไขมันด้วยถังดักไขมันก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่บ่อพัก เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กฎ ประกาศและระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ (พิมพ์ครั้งที่ 5)*. โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 122 ตอนที่ 125ง. หน้า 4-10.

Anudechakul, C., Vangnai, A.S. and Ariyakanon, N. (2015). Removal of chlopyrifos by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the role of a plant-associated bacterium. *International Journal of Phytoremediation, 17*, 678-685.

Keeratiurai, P. (2013). Efficiency of wastewater treatment with hydroponics. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 8*(12), 800-805.

Mustafa, H.M. and Hayder, G. (2020). Performance of *Pistia stratiotes*, Salvinia molesta, and *Eichhornia crassipes* aquatic plants in the tertiary treatment of domestic wastewater with varying retention times. *Applied Science, 10*, 9015, 1-19.

Nizam, N.U.M., Hanafiah, M.M., Noor, I.M. and Karim, H.I.A. (2020). Efficiency of five selected aquatic plants in phytoremediation of aquaculture wastewater. *Applied Science, 10*, 2712.

Valipour, A., Raman, V.K. and Ahn, Y.H. (2015). Effectiveness of domestic wastewater treatment using a bio-hedge water hyacinth wetland system. *Water, 7*, 329-347.

Wada, T. (2019). Chapter 1.1-Theory and technology to control the nutrient solution of hydroponics: In Anpo, M., Fukuda, H. and Wada, T., (Eds.). *Plant Factory Using Artificial Light, Elsevier*.

Xiuxiu, R, Wei, EY., Jianwei, Z., Hua, C., Liangwen, W, Guang, RQ. and Ray, L. (2016). Hydroponic removal of organic contaminants from water by using ryegrass and organobentonites simultaneously. *Frost Applied Clay Science, 119*, 333-337.