วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาหมอไทยด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*)

Climbing perch culture wastewater treatment with *Azolla microphylla*

บุญทิวา ชาติชำนิ[1], สุกัญญา คำหล้า[1]*, สมศักดิ์ ระยัน[1] และ จุรีพร วงศ์จันดา[2]

Boonthiwa Chartchumni[1], Sugunya Kumla[1]*, Somsak Rayan[1] and Jureeporn Wongjunda[2]

[1] *สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร*
[1] *Fisheries, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus*
[2] *ผู้ช่วยนักวิจัย สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร*
[2] *research assistant, Fisheries Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan Sakon Nakhon Campus*

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดง (*Azolla microphylla*) ใช้แผนการทดลองแบบ 5x3 factorial in completely randomized design (CRD) มี 3 ซ้ำ น้ำทิ้งที่ไม่ใส่แหนแดงเป็นตัวอย่างการควบคุมโดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 : ระดับชีวมวลของแหนแดง คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg/ 50 l ของน้ำทิ้ง ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ คือ 10, 20 และ 30 วัน นำตัวอย่างน้ำทิ้งไปวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ pH, DO, BOD, NH_3, TSS, TN, และ TP นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงที่ปริมาณแหนแดง 0.2 kg และระยะเวลา 20 วันมีค่า pH =8.51±0.44, DO=5.85±2.39, BOD=1.05±0.31 mg/l, TSS=1.17±0.07 mg/l และ TP=0.04±0.00 mg-P/l ปริมาณแหนแดง 0.8 kg และระยะเวลา 20 วันมีค่า NH_3= 0.53±0.01 mg.N-/l และ TN= 0.93±0.13 mg-N/l และการใช้ชีวมวลของแหนแดงในระดับที่แตกต่างกันและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าชีวมวลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m^2 ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg และการศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของแหนแดง พบว่าหลังการบำบัดที่ปริมาณแหนแดง 0.8 kg ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน ที่ปริมาณไนโตรเจนของแหนแดงมากที่สุดเท่ากับ 25.28±0.00% และปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 28.89±0.15% ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงที่ทำการศึกษานี้เป็นผลมาจากในน้ำเสียมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและสามารถเพิ่มมวลชีวภาพได้ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ปลาหมอไทย; การบำบัดน้ำทิ้ง; แหนแดง; โรงเรือนทดลอง

ABSTRACT: The purpose of this research was to study the effluent treatment from Climbing Perch culture using *Azolla microphylla* on effluent treatment from Climbing Perch culture. The 5x3 factorial in completely randomized design was used with 3 replications. The effluent without *Azolla microphylla* was a control sample which was divided into 2 factors. The first factor consisted of different *Azolla microphylla* biomass levels (0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 kg/ 50 l of the effluent). The second factor included the different durations of water quality treatments (10, 20, and 30 days). The effluent samples were analyzed for water quality indices which were pH, DO, BOD NH_3, TSS, TN, and TP. The data collection was used for analysis of variance and mean comparisons using Duncan's new multiple range test (DMRT) method at 95% of reliability. The results showed that the treatment efficiency reduced at 0.2 kg

* Corresponding author: suganyakumla@gmail.com

Received: date; December 24, 2021 Accepted: date; August 1, 2022 Published: date; October 12, 2022

of *Azolla microphylla* and 20-day treatment duration, pH=8.51±0.44, DO=5.85±2.39, BOD=1.05±0.31 mg/l, TSS=1.17±0.07 mg/l, and TP=0.04±0.00 mg/-P/l. The *Azolla microphylla* at the weigh of 0.8 kg with 20-day treatment duration showed that NH_3 = 0.53±0.01 mg.N-/l and TN = 0.93±0.13 mg-N/l. The use of *Azolla microphylla* biomass at different levels and appropriate time for biomass change showed a statistically significant difference averaged between 678.3-1696.7 g/m^2 at 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 kg. The study of *Azolla microphylla*'s nitrogen and phosphorus content was found that after treatment at 0.8 kg for 30 days, the highest nitrogen content of *Azolla microphylla* was 25.28±0.00% and 28.89±0.15% for the highest phosphorus content. The increase in the yield of *Azolla microphylla* in this study was a result of the nutrient in the effluent from which the *Azolla microphylla* could absorb for its growth and biomass increasing over an extended period of time.
Keywords: Climbing Perch culture; wastewater treatment; *Azolla microphylla*; experimental house

---

บทนำ

ปัจจุบันคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน กำลังประสบปัญหาความเสื่อมโทรมจากการปนเปื้อนมลสารประเภทต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งจากกิจกรรมชุมชน กิจกรรมการผลิตและบริการทั้งด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการท่องเที่ยว การปนเปื้อนมลสารของน้ำในแหล่งน้ำ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของทรัพยากรน้ำ จนส่งผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศแหล่งน้ำ และเกิดผลกระทบต่อการนำน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์ (Arora et al. 2009; Sood et al., 2011; Sachdeva and Sharma, 2012) การเลี้ยงปลาหมอไทยที่พบว่ามีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค การเลี้ยงปลาหมอไทยมีการเลี้ยงทั้งในบ่อดินและบ่อที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำมาก่อน ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมามีการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ปัญหาที่ตามมาได้แก่ คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาหมอเสื่อโทรมลงตามระยะเวลาเลี้ยงปลาหมอ เนื่องจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้น ยังไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในระบบได้อย่างดีพอ ทำให้ระบบนิเวศในบ่อเสื่อมโทรม จากการรายงานวิจัยของ ณภัทร (2559) ทำการวิจัยการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยและปลาสลิดที่เลี้ยงในน้ำกร่อย พบว่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมบริเวณที่เลี้ยงปลาหมอ ค่าบีโอดีเท่ากับ 285 mg/l ออกซิเจนละลายในน้ำต่ำสุดเท่ากับ 2.20 mg/l ซึ่งเป็นค่าที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน เละยังส่งผลต่อผลผลิตสัตว์น้ำไม่มีคุณภาพ การเติบโตช้า และอาจมีการติดโรคได้ง่าย เกษตรกรมักแก้ปัญหาโดยการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดให้ได้ค่ามาตรฐานก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง ถ้ามีค่าเกินกว่าที่ระบบธรรมชาติบำบัดได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้น การใส่ใจและการดูแลคุณภาพน้ำของบ่อเพาะเลี้ยงและแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยรอบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์การย่อยสลายสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียทำให้ปริมาณสาร ต่าง ๆ ลดน้อยลง จากงานวิจัยของพันธุ์ทิพย์ และคณะ (2558) ได้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และศึกษาผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD_5, TSS, TDS, TKN และ TP ของระบบบำบัดในแต่ละสัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยลดลง และงานวิจัยของ จิรพงศ์และสมชาย (2563) ใช้แหนแดง (*Azolla* spp.) และแหนเป็ดเล็ก (*Lemna minor*) บำบัดสิ่งขับถ่ายของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีต พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม และสารแขวนลอยลดลง แหนแดงมีการเติบโตดีที่สุด โดยมีน้ำหนัก 3.24±0.05 กรัมน้ำหนักแห้ง และมีประสิทธิภาพการดูดซับธาตุอาหารดีที่สุด สามารถลดไนเตรท-ไนโตรเจน ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต และฟอสฟอรัสรวมได้ 99.03±0.02, 85.80±0.01, 97.33±0.01 และ 89.21±0.04% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แหนแดง และแหนเป็ดเล็กสามารถนำไปใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากบ่อปลานิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยสนใจการนำแหนแดง (*Azolla microphylla*) มาบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาหมอไทยเนื่องจาก ภณชัย และคณะ (2554) และ Weirich et al. (2020) อธิบายว่าแหนแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เพราะมีระบบรากฝอยจำนวนมากอยู่ใต้น้ำ ทำให้สามารถดูดซึมอาหารและมลสารอื่น ๆ ที่ปนมากับน้ำได้ดี แหนแดงเป็นพืชลอยน้ำชนิดหนึ่ง (Floating plant) ที่มีขนาดเล็กชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกในนาข้าวเพื่อใช้เป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน โดยนิยมนำมาใช้ทำปุ๋ยพืชสด เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต

เนื่องจากแหนแดงนั้นมีความสัมพันธ์กับสาหร่าย *Anabaena* sp. แบบพึ่งพาอาศัย (Mutualism) ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen Fixation) ทำให้แหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 2 - 4.5% ของน้ำหนักแห้ง (Bocchi and Malgioglio, 2010; Watanabe and Ramirez, 1990) แหนแดงสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถให้ผลผลิตถึง 3 ตัน/ไร่ หากอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (Wongbung, 1994) แต่อย่างไรก็ตามแหนแดงนิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับในนาข้าวเท่านั้น ยังมิได้นำมาเพาะเลี้ยงและใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในรูปของปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งยังพบว่าแหนแดงสามารถใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย (Klomje et al., 2015) โดยงานวิจัยของศิราภรณ์และฐปน (2561) ทำการเพาะเลี้ยงแหนแดงในน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรทุกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงมีผลต่อการเจริญของแหนแดง แหนแดงเจริญได้ดีในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำ ๆ โดยพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2% แหนแดงซึ่งมีการเจริญสูงที่สุดมีน้ำหนักแห้ง 16.46 ± 0.8 g/m^2 และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ 0.11 ต่อวัน ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงแหนแดงที่เหมาะสมคือ 2 สัปดาห์ แหนแดงที่เพาะเลี้ยงได้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 3.53%, 0.87% และ 7.43% ตามลำดับ และงานวิจัยของณัฐสิมา และคณะ (2554) ศึกษาขั้นตอนการเพาะเลี้ยงแหนแดงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกร เพื่อให้ได้แหนแดงที่มีปริมาณของสารอาหารที่สูงรวมทั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดง เพื่อสามารถพัฒนาไปสู่การเพาะเลี้ยงแหนแดงเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับทดแทนหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมี

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาปริมาณแหนแดงที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทย ซึ่งเป็นน้ำเสียจากบ่อพักน้ำที่ไม่ผ่านระบบบำบัด จัดเป็นรูปแบบการบำบัดอย่างง่ายในระดับครัวเรือน สามารถนำไปใช้ได้จริง ผลจากการศึกษาอาจทำให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับผลของระยะการเก็บเกี่ยวและการเติมแหนแดงลงสู่ระบบต่อประสิทธิภาพของแหนแดงในการบำบัดน้ำเสีย และปริมาณผลผลิตแหนแดง

วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงปลาหมอไทยในเขตตำบลเร่ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร มีจำนวน 10 บ่อ ตักขึ้นมาบ่อละจำนวน 100 l ด้วยวิธีจ้วง (Grab sampling) โดยนำมาผสมรวมกันในถังพลาสติกขนาด 1000 l เนื่องจากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นที่สูง จึงทำการปรับระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งด้วยน้ำบาดาลที่ระดับความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร นำตัวอย่างน้ำทิ้งไปวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ (**Table 1**) ทั้งก่อนการบำบัด ได้แก่ บีโอดี (BOD) วิเคราะห์ด้วยวิธี 5-Day BOD Test แอมโมเนีย (NH_3) วิเคราะห์ด้วยวิธี Phenate method ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) วิเคราะห์ด้วยวิธี Glass Fiber Filter Disc และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 °C การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) และฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus) วิเคราะห์ด้วยวิธีของ AOAC (2000) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) การวิเคราะห์ด้วย pH Meter ยี่ห้อ OHAUS รุ่น ST3100 ประเทศอเมริกา และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) การวิเคราะห์ด้วย DO Meter ยี่ห้อ Lutron รุ่น DO-5512SD ประเทศไต้หวัน โดยใช้วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ใน Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1998)

การเตรียมแหนแดงโดยแหนแดงที่นำมาทดลองได้มาจากโครงการทดลองของสาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตสกลนคร โดยคัดจากการเลี้ยงแหนแดงที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ในการเลี้ยงแหนแดงโดยอัตราส่วน มูลสัตว์ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน ขนาดบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงแหนแดงขนาด กว้าง 2 m ยาว 5 m และลึก 1 m (**Figure 1**)


Figure 1 *Azolla microphylla* grown in concrete ponds before using for the experiment

การดำเนินการทดลอง ตวงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยลงในภาชนะพลาสติกขนาดปริมาตร 5 l (กว้าง 24 cm ยาว 39 cm สูง 9 cm) จำนวน 15 ใบ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำแหนแดงชั่งน้ำหนักชีวมวล 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg ลงในแต่ละใบจนครบหน่วยการทดลอง โดยโดยจะเก็บนำมาวิเคราะห์ในระยะเวลา 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับ (**Figure 2**) วางแผนการทดลองแบบ 5x3 factorial in completely randomized design (Factorial in CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ น้ำทิ้งที่ไม่ใส่แหนแดงเป็นตัวอย่างการควบคุม โดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ระดับชีวมวลของแหนแดง แบ่งเป็น 5 ระดับ คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg/ 50 l ของน้ำทิ้ง

ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการบำบัดคุณภาพน้ำ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 วัน

โดยจะเริ่มเก็บน้ำเวลา 10.00 น. โดยในทุกระยะจะนำน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ก่อนและหลังตามระยะเวลาที่กำหนด โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ บีโอดี แอมโมเนีย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ฟอสฟอรัสรวม และไนโตรเจนรวมด้วยวิธี AOAC (2000)

ทำการเก็บตัวอย่างแหนแดงทุกระยะเวลาที่กำหนดออกจากแต่ละหน่วยทดลอง นำตัวอย่างแหนแดงไปตรวจวิเคราะห์ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งด้วยวิธีชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของตัวอย่างภายหลังการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 ˚C เป็นเวลา 3 วัน และวิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate: RGR) จากสมการ $\frac{InW_2 - InW_1}{t_2 - t_1}$ เมื่อ W_1 และ W_2 คือน้ำหนักแห้งขณะเวลาเริ่มต้น (t_1) และน้ำหนักแห้งเมื่อเวลาเก็บเกี่ยว (t_2) (Beadle, 1982)


Figure 2 Examples testing

การวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (Analysis of variance) ของค่าคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยด้วยอัตราชีวมวลแหนแดงในระดับต่าง ๆ และระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษา

การบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดงในโรงเรือนทดลอง

น้ำทิ้งที่ศึกษาเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยทั้งหมด 10 บ่อ แล้วนำตัวอย่างมาบ่อละ 300 l นำมามารวมในถังพลาสติกขนาด 1000 l แล้วทำการตรวจวัดน้ำทิ้ง (**Table 1**)

Table 1 Properties of water from the climbing perch culture pond and water to be treated

Water quality index	Unit	standard*	Waste water from Climbing Perch culture pond	Treated wastewater
pH	-	not exceeding 9	8.27-8.50	8.52
Do	mg/l	not exceeding 3	7.88-8.86	4.48
BOD	mg/l	not exceeding 20	19.68-22.88	1.44
NH_3	mg.N-/l	not exceeding 1.1	1.01-1.89	0.53
TSS	(mg/l)	not exceeding 70	72.44-73.58	1.29
TP	mg.P/l	not exceeding 0.5	0.74-1.25	0.37
TN	mg.N-/l	not exceeding 4.0	4.05-4.66	0.83

Department of Fisheries (2011)*

Do: Dissolved Oxygen, BOD: Biological Oxygen Demand, NH_3: Ammonia, TSS: Total Suspended Solid, TP: Total Phosphorus, TN: Total Nitrogen

การศึกษาพบว่าการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดง โดยนำทิ้งมีระดับความเข้มข้น 25% พบว่าปริมาณแหนแดง 0.2 kg และระยะเวลา 20 วัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ภายหลังการบำบัดด้วยแหนแดงทุกดัชนีตรวจวัดแสดงใน **Table 2** ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งของระบบบำบัดในแต่ละระยะเวลามีค่า pH เท่ากับ 8.51±0.44, DO เท่ากับ 5.85±2.39, BOD เท่ากับ 1.05±0.31 mg/l, TSS เท่ากับ 1.17±0.07 mg/l, TP เท่ากับ 0.04±0.00 mg-P/l ส่วนปริมาณแหนแดง 0.8 kg มีค่า NH_3 เท่ากับ 0.53±0.01 mg-N/l และ TN เท่ากับ 0.93±0.13 mg-N/l เมื่อใช้แหนแดงบำบัดน้ำทิ้งสามารถลดค่าดังกล่าวได้มากกว่าที่ไม่มีการบำบัด

Table 2 Effects of water quality changes in the form of pH, DO, BOD, NH_3, TSS, TP and TN after using *Azolla microphylla*

Day	Dose (kg)	pH	Do	BOD (mg/l)	NH_3 mg.N-/l	TSS (mg/l)	TP mg-p/l	TN (mg.N-/l)
10	0	8.50±0.76^{c}	4.43±1.56^{a}	1.44±0.96^{b}	0.53±0.01^{a}	1.29±0.81^{b}	0.37±0.01^{a}	0.83±0.08^{b}
	0.2	8.31±1.12^{a}	4.55±2.20^{b}	2.03±0.82^{c}	0.53±0.00^{b}	1.84±0.05^{b}	0.04±0.00^{b}	0.91±0.22^{b}
	0.4	8.40±0.27^{c}	5.37±1.45^{a}	2.40±1.04^{a}	0.52±0.01^{a}	1.9±0.80^{b}	0.37±0.00^{a}	0.96±0.03^{a}
	0.6	7.58±0.47^{b}	3.67±2.14^{a}	1.97±1.08^{a}	0.52±0.01^{a}	1.84±0.87^{a}	0.38±0.01^{a}	0.96±0.24^{c}
	0.8	6.77±0.44^{b}	3.85±2.39^{b}	1.30±0.31^{b}	0.53±0.01^{c}	1.81±0.07^{a}	0.34±0.00^{b}	0.93±0.13^{c}
20	0	8.50±0.76^{c}	4.43±1.56^{a}	1.44±0.96^{b}	0.53±0.01^{a}	1.29±0.81^{a}	0.37±0.01^{a}	0.83±0.08^{b}
	0.2	8.51±0.44^{b}	5.85±2.39^{b}	1.05±0.31^{b}	0.50±0.01^{c}	1.17±0.07^{a}	0.24±0.00^{b}	0.04±0.00^{b}
	0.4	8.60±0.27^{c}	4.40±1.45^{a}	0.67±1.04^{a}	0.51±0.01^{a}	1.34±0.80^{b}	0.27±0.00^{a}	0.22±0.03^{a}
	0.6	7.98±0.47^{b}	6.60±2.14^{a}	1.30±1.08^{a}	0.52±0.01^{a}	1.26±0.87^{a}	0.28±0.01^{a}	0.20±0.24^{c}
	0.8	8.55±0.44^{b}	7.77±2.39^{b}	0.93±0.31^{b}	0.53±0.00^{b}	1.10±0.07^{a}	0.93±0.13^{c}	0.10±0.13^{c}
30	0	8.50±0.76^{c}	4.43±1.56^{a}	1.44±0.96^{b}	0.52±0.01^{a}	1.19±0.81^{b}	0.27±0.01^{a}	0.73±0.08^{b}
	0.2	8.13±0.52^{a}	2.85±0.97^{a}	1.17±0.44^{a}	0.52±0.01^{a}	1.83±0.07^{b}	0.03±0.01^{a}	0.82±0.04^{a}
	0.4	8.60±0.27^{c}	4.21±1.45^{a}	0.93±1.04^{a}	0.52±0.01^{a}	1.34±0.80^{b}	0.37±0.00^{a}	0.80±0.03^{a}
	0.6	7.98±0.47^{b}	4.54±2.14^{a}	1.12±1.08^{b}	0.52±0.01^{a}	1.26±0.87^{a}	0.38±0.01^{a}	0.96±0.24^{c}
	0.8	7.53±0.74^{a}	4.93±2.68^{a}	0.88±0.71^{a}	0.53±0.00^{b}	1.27±0.86^{a}	0.37±0.00^{a}	1.03±0.12^{c}

^{abc} values in the same column at the same period are method at 95% confidence level

Do: Dissolved Oxygen, BOD: Biological Oxygen Demand, NH_3: Ammonia, TSS: Total Suspended Solid, TP: Total Phosphorus, TN: Total Nitrogen

การศึกษาชีวมวลของแหนแดง

การบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งโดยการใช้ชีวมวลของแหนแดงที่ระดับแตกต่างกันและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงชีวมวลของแหนแดงแสดงใน **Table 3** ผลของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยการใช้ชีวมวลของแหนแดงในระดับที่แตกต่างกัน และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าชีวมวล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) พบว่าที่ระดับชีวมวลของแหนแดง 0.8 kg ระยะเวลา 10 วัน มีค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 188.89±67.61 g ส่วนระยะเวลา 20 วัน มีค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 197.40±87.61 g และระยะ 30 วัน มีค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 247.89 ±58.73 g ($P<0.05$) ระดับชีวมวลของแหนแดงและระยะเวลาในการบำบัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าชีวมวลของแหนแดง ($P<0.05$) ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่ทำการศึกษานี้ เป็นผลจากน้ำทิ้งซึ่งมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้ โดยจะพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงลดลงตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลการศึกษาค่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) (**Figure 3**) โดยค่า RGR ของแหนแดงในระบบบำบัดพืชลอยน้ำที่เก็บเกี่ยวแหนแดงทุก 10 และ 20 วัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่แหนแดงในระยะเวลา 30 วัน มีค่า RGR สูงของการเก็บเกี่ยว

Table 3 Changes in *Azolla microphylla* biomass at different time periods

Azolla biomass (kg/ 50 l of waste water)	biomass (kg)	Time		
		10 day	20 day	30 day
	0.2	144.05±80.21[a]	153.30±12.61[a]	163.00±70.16[b]
	0.4	159.45±11.21[c]	178.89±22.61[b]	213.89±67.12[c]
	0.6	175.26±17.61[b]	189.22±27.61[b]	215.22±68.06[c]
	0.8	188.89±67.61[a]	197.40±87.61[b]	247.89±58.73[c]

[abc] values in the same column at the same period are method at 95% confidence level.

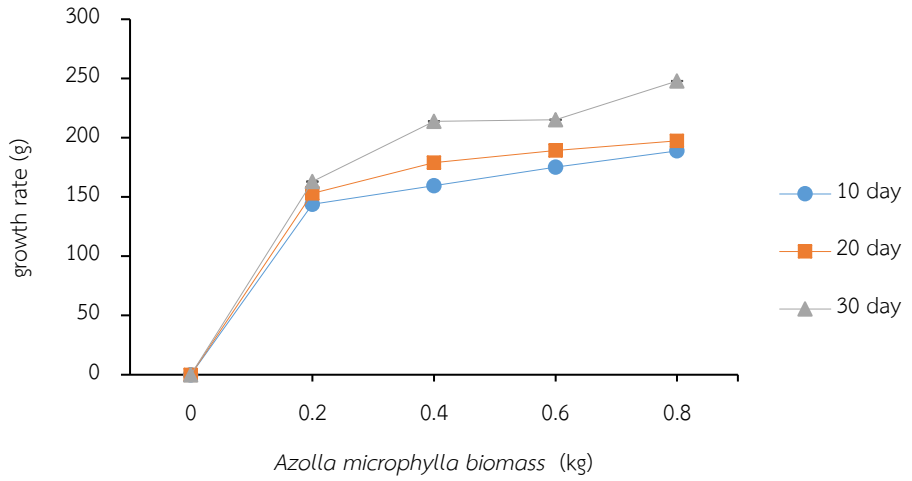

Figure 3 Relative growth rate of *Azolla microphylla* in wastewater from climbing perch culture pond at different biomass and time periods.

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอฟอรัสแหนแดง

ผลของการปริมาณไนโตรเจนในน้ำพบว่าที่ระดับชีวมวลของแหนแดง 0.8 kg ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 24.82±0.45% ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 23.78±0.25% ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 25.28±0.00% (**Figure 4a**) ผลการศึกษาปริมาณฟอฟอรัสพบว่าการใช้ระดับชีวมวลของแหนแดงในการบำบัดน้ำทุกชุดการทดลองมีค่าฟอสฟอรัสที่ระดับชีวมวลของแหนแดง 0.8 kg ที่ระยะเวลาในการบำบัด 10 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 12.19±0.45% ที่ระยะเวลาในการบำบัด 20 วัน ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 26.19±0.25% ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 28.89±0.15% (**Figure 4b**) สามารถอธิบายได้ว่าที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณแหนแดง 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากที่สุด ซึ่งธาตุอาหารดังกล่าวแหนแดงจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้

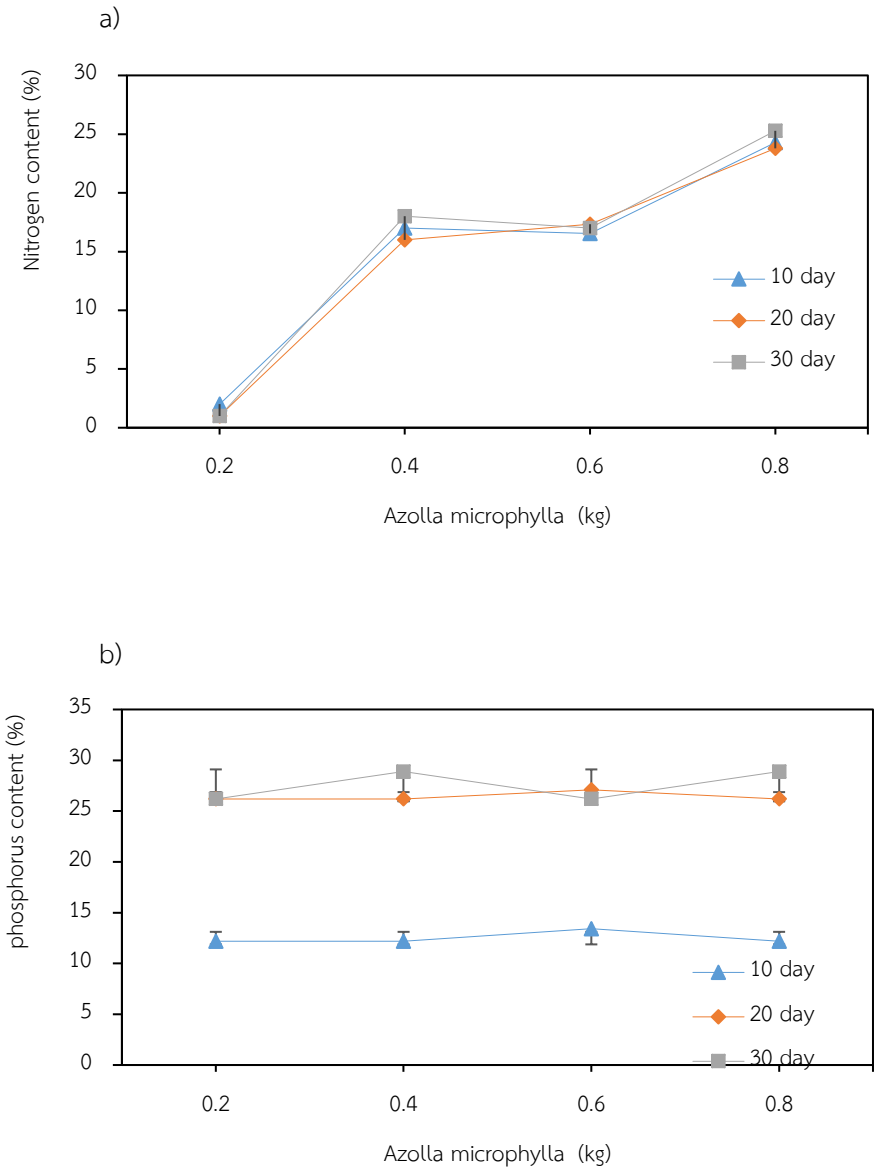

Figure 4 Nitrogen (a) and phosphorus (b) in *Azolla microphylla* after being used for treating effluent from Climbing Perch culture pond

วิจารณ์

การบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดงในโรงเรือนทดลอง

จากการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดงบำบัดแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้แหนแดงบำบัด 0.2 kg เป็นเวลา 20 วัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่า pH เท่ากับ 8.51±0.44, ค่า DO เท่ากับ 5.85±2.39 mg/l โดยถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จากการตรวจวัดพบว่า ค่า DO ของน้ำเสียที่ทำการบำบัด มีค่าลดต่ำลงใน 10 วันแรกของการบำบัด แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า DO ของน้ำเสียในระบบบำบัดคือความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปมลสารของจุลินทรีย์ จึงทำให้ค่า DO ในน้ำเสียลดลงโดยเฉพาะในสัปดาห์แรกซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการบำบัดของระบบ จากนั้น DO จึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งเป็นผลจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายในน้ำเสียมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ค่า DO ที่เพิ่มขึ้น

ยังเกิดจากการเติมออกซิเจนจากอากาศและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ อย่างไรก็ตามการปกคลุมผิวน้ำของแหนแดง ที่มีปริมาณมากเกินไปอาจขัดขวางการละลายของออกซิเจนจากบรรยากาศ และการเติมออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ pH ของน้ำเสียในระบบมีค่าผันแปรในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า pH ของน้ำเสีย ได้แก่ การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ จากการนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และการได้รับ free CO_2, HCO_2^-, CO_3^{2-}, H^+ และ OH^- ของน้ำจากกระบวนการทางชีวภาพและเคมี (Sanna et al., 2017) สามารถอนุมานได้ว่าการสลายตัวที่ไม่สมบูรณ์ของโมเลกุลทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดในเกลืออิเล็กโทรไลต์ที่อ่อนแอ HSO_4^- ion เกิดจากการแยกตัวของ $NaHSO_4$ จะทำให้ pH ลดลงเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

ค่า BOD ในน้ำเสียจากระบบบำบัดด้วยพืชลอยน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ทำให้สารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ (Particulate organic matter: POM) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter: DOM) และ DOM จะเกิดการย่อยสลายเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซเช่น คาร์บอนไดออกไซด์แล้วระเหยออกจากระบบ การเปลี่ยนรูปนี้จะเกิดได้ดีภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic condition) นอกจากนั้นการดูดซับ (Adsorption) ของ POM และสารอินทรีย์ในรูปคอลลอยด์ (Colloid) กับผนังของหน่วยทดลองและส่วนต่าง ๆ ของพืช สามารถช่วยลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงได้บ้าง แต่เกิดได้น้อยเนื่องจากแหนแดงมีส่วนที่จมอยู่ในน้ำไม่มากนัก ค่า BOD เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ (Limmer and Burken, 2016; Ekta and Modi, 2018) การใช้พืชบำบัดมลพิษจากสิ่งแวดล้อม (phytoremediation) เช่น การใช้แหนแดงซึ่งสามารถดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Tulod et al., 2012; Varghese and Jacob 2016; Napaldet et al., 2019) งานวิจัยของ Unisah และ Akbari (2020) พบว่าการใช้แหนแดงบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำน้ำเต้าหู้สามารถลดค่า BOD ได้ถึง 96%

การบำบัด TSS ในน้ำเสียของระบบบำบัดโดยทั่วไปและรวมถึงระบบบำบัดด้วยพืชลอยน้ำ มักเกิดพร้อมกับการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดย TSS ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดด้วยการตกตะกอน และ TSS บางส่วนจะถูกบำบัดโดยการดูดซับติดอยู่กับวัตถุ (Chellaiah, 2018) เช่น รากหรือใบของแหนแดงที่สัมผัสน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากแหนแดงมีพื้นผิวสัมผัสน้อยลง ดังนั้นการดูดซับของ TSS ติดอยู่กับแหนแดงจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไม่มาก ขณะที่เศษซากของแหนแดงรวมถึงเศษสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ติดมากับแหนแดงที่เติมลงสู่ระบบ จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่า TSS และมลสารรูปอื่นให้กับน้ำเสียในระบบ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำจากการระเหยเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเข้มข้นของ TSS ที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า TSS ในน้ำเสียของแต่ละระบบเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นจะพบว่า TSS มีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์แรกของการบำบัดอย่างชัดเจนในทุกระบบการลดลงของระดับ TSS อาจเกิดจากความสามารถของแหนแดง โดยงานวิจัยของการศึกษาโดย Sheena และ Harsha (2018) พบว่าการลดลงของ TSS เกิดจากความสามารถของรากพืชโดยการดูดซับ TSS ซึ่งมีผลต่อการช่วยลดปริมาณ TSS เท่ากับ 74%, 72%, 78% ด้วยเวลา 24 hr. และประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นถึง 86%, 81% และ 88% ในถังที่ที่ 1, 2 และ 3 ด้วยเวลา 48 hr. โดย TSS ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยกระบวนการทางกายภาพของการตกตะกอน (Sood et al., 2011)

การลดไนโตรเจน (TN) ในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นผลจากการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนผ่านกระบวนการ Ammonification, Nitrification และ Denitrification ซึ่งสองกระบวนการแรกจะทำให้ได้ธาตุอาหารที่ถูกนำไปใช้ได้โดยสิ่งมีชีวิต ขณะที่ Denitrification จะทำให้ได้ผลผลิตในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2O, N_2) ซึ่งจะระเหยออกจากระบบ นอกเหนือจากการระเหยของไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) (Reddy and D'Angelo, 1997) และเนื่องจากไนโตรเจนบางส่วนอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Particulate nitrogen) ค่าของไนโตรเจนรูปแบบต่าง ๆ ในกลุ่มบำบัดอนินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอินทรีย์และกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณไนโตรเจนที่สูงจากการเติมของยูเรียซึ่งละลายในน้ำและเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว (Ma et al., 2019) ผลของค่าฟอสฟอรัสรวม (TP) ลดลงส่วนใหญ่เกิดจากการตกตะกอนเคมีของฟอสฟอรัสร่วมกับ Fe, Al หรือ Ca (Wudtisin, 2005) ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนเคมีสามารถผันกลับคืนสู่รูปของสารละลายและเพิ่มค่าฟอสฟอรัสให้กับน้ำเสียได้เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า DO และ pH ของน้ำเสีย ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดในระบบจึงส่งผลต่อการลดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วย

การนำไนโตรเจนไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (Plant and microbial uptake) โดยเฉพาะแหนแดงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไนโตรเจนในน้ำเสียมีปริมาณลดลง

ผลการศึกษาชีวมวลของแหนแดง

ผลการศึกษาชีวมวลของแหนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า ชีวมวลแหนแดงมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m^2 ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg ภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยในเวลา 30 วัน ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดง เป็นผลจากน้ำเสียมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้ โดยจะพบว่าผลผลิตน้ำหนักสดของแหนแดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำอย่างเพียงพอและมีธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแหนแดง ทั้งนี้ผลการศึกษาอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และผลผลิตน้ำหนักแห้งของแหนแดงที่พบค่าเป็นลบนั้นเป็นผลเนื่องจากแหนแดงที่เก็บเกี่ยวได้ในรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าน้ำหนักแห้งต่ำกว่าค่าน้ำหนักแห้งของแหนแดงตั้งต้นที่เติมลงสู่ระบบ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลผลิตน้ำหนักสดในรอบการเก็บเกี่ยวดังกล่าวมีค่าต่ำ ประกอบกับแหนแดงจากรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าความชื้นสูง ซึ่งหมายถึงแหนแดงมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำสูง ดังนั้นค่าน้ำหนักแห้งและค่า RGR ของแหนแดงจึงมีค่าต่ำจากงานวิจัยของ Taylan and Mustafa (2019) พบว่าแหนแดงเป็นหนึ่งในพืชที่เติบโตเร็วที่สุดที่มีความสามารถเพิ่มมวลชีวภาพเป็นสองเท่าใน 5-6 วัน (Miranda et al., 2016: Pereira et al., 2015) มีการระบุว่า RGR สำหรับแหนแดงชนิด *A. pinnata* และ *A. caroliniana* เท่ากับ 0.085 และ 0.087 $gg^{-1}day^{-1}$ ตามลำดับ ในขณะที่เวลาเมื่อชีวมวลเพิ่มเป็นสองเท่าสำหรับพืชชนิดเดียวกันเท่ากับ 8.29 และ 7.98 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาการทดลองของ *A. microphylla* พบว่าอัตรา RGR คือ 0.133 $gg^{-1}day^{-1}$ ซึ่งชีวมวลเพิ่มเป็นสองเท่าในเวลา 8.6 วัน เมื่อเปรียบเทียบพบว่า *A. pinnata* โตเร็วกว่า *A. caroliniana*

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหนแดง

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในแหนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนรวมสูงสุดเท่ากับ 25.28±0.00% ($P<0.05$) และที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของแหนแดงมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อปริมาณไนโตรเจน ในแหนแดงเพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะภายนอกที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนคือ แหนแดงจะมีสีเขียวสด การสะสมของปริมาณไนโตรเจนในแหนงแดงเกิดจากกระบวนการไหล (Mass flow) โดยกระบวนการนี้ส่วนใหญ่จะเกิดเมื่อพืชมีการคายน้ำและพืชสามารถชดเชยน้ำที่หายไป (Miller and Donahue, 1990)

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในแหนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนรวมสูงสุดเท่ากับ 28.89±0.15% ($P<0.05$) และที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในแหนแดงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Formi et al. (2001) ซึ่งพบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียลดลงเมื่อบำบัดนำโดยใช้แหนแดง (*Azolla filiculoides Lam*) โดยแหนแดงกำจัดไนโตรเจนในรูป NO_3^- ในน้ำเสียจากชุมชนการเกษตรและเหมืองแร่ ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนฟอสฟอรัสในรูป PO_4^{-3} มีปริมาณน้อยมากในน้ำเสียชุมชนและการเกษตร ส่วนน้ำเสียจากเหมืองแร่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสลดลง สำหรับความสามารถในการเจริญเติบโตพบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 70% ของผิวน้ำในบ่อบำบัดแหนแดงสามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้ดีกว่าน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ

สรุป

การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งบ่อปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดงซึ่งพบว่าที่ปริมาณแหนแดงคือ 0.2 kg และระยะเวลา 20 วันทำให้น้ำทิ้งมีค่าในการบำบัด pH =8.51±0.44, DO=5.85±2.39, BOD=1.05±0.31 mg/l, TSS=1.17±0.07 mg/l, TP=0.04±0.00 mg-P/l ส่วนปริมาณแหนแดง 0.8 kg และระยะเวลา 20 วัน ทำให้มีค่า NH_3 =0.53±0.01 mg.N-/l และ TN= 0.93±0.13 mg.N/l ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งก่อนบำบัด และหลังบำบัดพบว่าน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

จากการศึกษาชีวมวลของแหนแดงพบว่าที่ระยะเวลา 30 วัน ชีวมวลแหนแดงมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m^2 ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงที่ทำการศึกษานี้เป็นผลมาจากในน้ำเสียมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและสามารถเพิ่มมวลชีวภาพได้ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การศึกษาปริมาณไนโตรเจนของแหนแดงมากที่สุดเท่ากับ 25.28±0.00% และปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 28.89±0.15% ที่ปริมาณแหนงแดง 0.8 kg ภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้ง 30 วัน

คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยด้วยการสนับสนุนและความร่วมมือจากคณาจารย์เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแนะน้าในด้านการดำเนินโครงการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้การอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนครทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ให้ความรู้และเทคนิคด้านต่าง ๆ ของการ วิจัย ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปีงบประมาณ 2560

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2554. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.

จิรพงศ์ ผดุงพราน และสมชาย วังวิบูลย์กิจ. 2563. การใช้แหนแดง (*Wolffia globosa*), เฟิร์นน้ำ (*Azolla.) spp*.) และแหน (*lemna minor*) เพื่อลดการเผาผลาญของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เพาะเลี้ยงในถังคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ณภัทร น้อยน้ำใส. 2559. การเจริญเติบโตของปลาหมอไทยและปลาสลิดที่เลี้ยงในน้ำกร่อย บริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแพร่กระจายดินเค็มเขตจังหวัดนครราชสีมา. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, นครราชสีมา.

ณัฐสิมา โทขันธ์, ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย และมงคล ต๊ะอุ่น. 2554. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้แหนแดง. น. 779-783. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 12 วันที่ 28 มกราคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น.

พันธุ์ทิพย์ กลมจักร, วิภา หอมหวน, ดำรงศักดิ์ สุวรรณศรี และนุชนันท์ ผลฤทธิ์. 2558. การบำบัดน้ำเสียสุกรการใช้เฟิร์นน้ำ (*Azolla microphylla*) ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชน้ำลอยน้ำ. ขอนแก่นวารสารวิทยาศาสตร์. 43(4): 698-714.

ภณชัย สุขแกว, ธนวรรณ พาณิชพิพัฒน์ และฐิติยา แซ่ปง. 2554. การใช้พืชน้ำบางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้าราชบุรี. น. 786-791. ในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร วิทยาเขตกำแพงแสนนครปฐม จ. นครปฐม.

ศิราภรณ์ ชื่นบาล และฐปน ชื่นบาล. 2565. การศึกษาการเจริญ การสะสม และการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12(1): 86-96.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17 th Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

APHA. AWWA. WEF. 1998. Standard Method for the Examination for Water and Wastewater. 20 th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.

Arora, A., S. Saxena, and R. Shah. 2009. Aquatic microphyte *Azolla* for Nutrient Removal from Wastewaters in Constructed Wetlands. Proceedings of International Conference on Energy and Environment. Environmental Energy. 1: 185-188.

Beadle, C.L. 1982. Plant growth analysis. In Techniques in Bio-productivity and Photosynthesis. Pergamon Press, New York.

Bocchi, S., and A. Malgioglio. 2010. *Azolla-anabaena* as a Biofertilizer for Rice Paddy Fields in the Po Valley, a Temperate Rice Area in Northern Italy. International Journal of Agronomy. 1: 1-5.

Chellaiah, E.R. 2018. Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview. Applied Water Science. 8(6): 1-10.

Ekta, P., and N.R. Modi. 2018. A review of phytoremediation. Journal of Pharmacognosy Phytochemistry. 7(4): 1485-1489.

Forni C., J. Chen, L. Tancioni, and C.M. Grilli. 2001. Evaluation of the fern *Azolla* for growth, Nitrogen of the phosphorus removal from wastewater. Elsevier Science. 6(35): 1592-1598.

Klomje, P., W. Homhaul, D. Suwannasri, and N. Phonrit. 2015. Swine wastewater treatment using water fern (*Azolla microphylla*) in floating aquatic plant wastewater treatment system. KKU Science Journal. 43(4): 698-714.

Kösesakal, T., and M. Yıldız. 2019. Growth performance and biochemical profile of *Azolla pinnata* and *Azolla Caroliniana* grown under greenhouse conditions. Archives of Biological Sciences. 71(3): 475-482.

Limmer, M., and J. Burken. 2016. Phytovolatilization of organic contaminants. Environmental Science and Technology. 50(13): 6632-6643.

Ma, C., T. Ban, H. Yu, Q. Li, X. Li, W. Jiang, and J. Xie. 2019. Urea Addition Promotes the Metabolism and Utilization of Nitrogen in Cucumber. Agronomy. 9: 262.

Miranda, A.F., B. Biswas, N. Ramkumar, R. Singh, J. Kumar, A. James, F. Roddick, B. Lal, S. Subudhi, T. Bhaskar, and A. Mouradov. 2016. Aquatic plant Azolla as the universal feedstock for biofuel production. Biotechnology for Biofuels. 9: 221.

Miller, R.W., and R.L. Donahue. 1990. Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. 6th Edition. Prentice-Hall International. Englewood Cliffs, N.J.

Napaldet, J.T., I.E. BuotJr, M.T. Zafaralla, I.L. LitJr, and R.C. Sotto. 2019. Effect of phytoremediation on the morpho-anatomical characters of some aquatic macrophytes. Biodiversitas. 20(5): 1289-1302.

Pereira, A.L., B. Monteiro, J. Azevedo, A. Campos, H. Osorio, and V. Vasconcelos. 2015. Effects of the naturally-occurring contaminant microcystins on the *Azolla filiculoides-Anabaena azollae symbiosis*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 118: 11-20.

Sachdeva, S., and A. Sharma. 2012. *Azolla*: Role in Phytoremediation of Heavy Metals. Available: https://www.researchgate.net/publication/265850667_Azolla_Role_in_Phytoremediation_of_heavy_metals. Accessed Feb. 14, 2020.

Sheena, K.N., and P. Harsha. 2018. Feasibility study of phytoremediation in wastewater treatment. International Journal of Scientific Research. 7: 1019-1026.

Sood, A., P.L. Uniyal, R. Prasanna, and A.S. Ahluwalia. 2011. Phytoremediation potential of Aquatic Macrophyte, *Azolla*. AMBIO: A Journal of the Human Environment. 41: 122–137.

Sanna, A., L. Steel, and M.M.M. Valer. 2017. Carbon dioxide sequestration using $NaHSO_4$ and NaOH: A dissolution and carbonation optimization study. Journal of Environmental Management. 189: 84-97.

Tulod, A.M., A.S. Castillo, W.M. Carandang, and N.M. Pampolina. 2012. Growth performance and phytoremediation of *Pongamia pinnata* (*L.*) *Pierre, Samanea saman* (*Jacq.*) Merr. and Vitex parviflora Juss In copper contaminated soil amended with zeolite and VAM. Asia Life Sciences. 21(2): 499-522.

Unisah, S., and T. Akbari. 2020. Processing of tofu wastewater by phytoremediation method plant *Azolla microphyllain* Tofu Industry B Serang City. Antologi Esai Jurnalis Indonesia dan Australia. 3: 73-86.

Varghese, A.R., and L. Jacob. 2016. Phytoremediation of water bodies using selected aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes*, l. The Asian Journal of Science and Technology. 7: 2774-2776.

Watanabe, I., and C. Ramirez. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of Azolla grown in the Philippines. Soil Science and Plant Nutrition. 36(2): 319-331.

Weirich, C.E., A. Feiden, C.S. Souza, C.R. Marchetti, V. Aleixo, and É.S. Klosowski. 2020. Temperature influences swine wastewater treatment by aquatic plants. Scientia Agricola. 78(4): e20190325.

Wongbung, W. 1994. *Azolla* and utilization in rice field. Natural Agriculture Journal. 11(3): 44-50.

Wudtisin, W., and C.E. Boyd. 2005. Determination of the phosphorus fertilization rate for bluegill ponds Using regression analysis. Aquaculture Research. 36: 593–599.