

การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาหมอไทยด้วยแหนแดง (*Azolla microphylla*)

Climbing perch culture wastewater treatment with *Azolla microphylla*

บุญทิwa ขาติขำนิ¹, สุกัญญา คำหล้า^{1*}, สมศักดิ์ ระยัน¹ และ จุรีพร วงศ์จันดา²

Boonthiwa Chartchumni¹, Sugunya Kumla^{1*}, Somsak Rayan¹ and Jureeporn Wongjunda²

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 น้ำทิ้งที่ไม่ใส่แหนแดงเป็นตัวอย่งการควบคุมโดยแบ่งออกเป็น 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, NH₃, 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 NH₃=0.53±0.01 mg-N/l และ TN= 0.93±0.13 mg-N/l และการใช้ชีวมวลของแหนแดงในระดับที่แตกต่างกันและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าชีวมวลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m² ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กิโลกรัม 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 was that *Azolla microphylla* biomass levels were 0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 kg/ 50 l of the effluent. The second factor was that water quality treatment duration was 10, 20, and 30 days. The effluent samples were analyzed for water quality indices which were pH, DO, BOD NH₃, 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 of

* Corresponding author: suganyakumla@gmail.com

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

Azolla microphylla and 20-day treatment duration, $\text{pH}=8.51\pm0.44$, $\text{DO}=5.85\pm2.39$, $\text{BOD}=1.05\pm0.31$ mg/L, $\text{TSS}=1.17\pm0.07$ mg/L, $\text{TP}=0.04\pm0.00$ mg-P/L. 0.8 kg of *Azolla microphylla* and 20-day treatment duration showed that $\text{NH}_3 = 0.53\pm0.01$ mg-N/L and $\text{TN}= 0.93\pm0.13$ 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/m² 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 กิจกรรมการผลิตและบริการ ทั้งด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการท่องเที่ยว การปนเปื้อนมลสารของน้ำในแหล่งน้ำ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของทรัพยากรน้ำ จนส่งผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศแหล่งน้ำ และเกิดผลกระทบต่อคนใช้น้ำนั้นไปใช้ประโยชน์ (Arora et al. 2009; Sood et al., 2011; Sachdeva and Sharma, 2012) การเลี้ยงปลาหมอไทยที่พบว่ามีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค การเลี้ยงปลาหมอไทยมีการเลี้ยงทั้งในบ่อดินและบ่อที่เลี้ยงกึ่งกุลาดำมาก่อน ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา มีการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ปัญหาที่ตามมาได้แก่ คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาหมอเสื่อมลงตามระยะเวลาเลี้ยงปลาหมอ เนื่องจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้น ยังไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในระบบได้อย่างดีพอ ทำให้ระบบนิเวศในบ่อเสื่อมโทรมจากการรายงานวิจัยของ ฅณัท (2559) ทำการวิจัยการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยและปลาสร้อยที่เลี้ยงในน้ำกร่อย พบว่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้คุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมบริเวณที่เลี้ยงปลาหมอ ค่าบีโอดีเท่ากับ 285 mg/L ออกซิเจนละลายในน้ำต่ำสุดเท่ากับ 2.20 mg/L ซึ่งเป็นค่าที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน และยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตสัตว์น้ำไม่มีคุณภาพ การเติบโตช้า และอาจมีการติดโรคได้ง่าย เกษตรกรมักแก้ปัญหาโดยการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดให้ได้ค่ามาตรฐานก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง ถ้ามีค่าเกินกว่าที่ระบบธรรมชาติบำบัดได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้น การใส่ใจและการดูแลคุณภาพน้ำของบ่อเพาะเลี้ยงและแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยรอบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์การย่อยสลายสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียทำให้ปริมาณสาร ต่าง ๆ ลดน้อยลง จากงานวิจัยของพันธุ์ทิพย์ และคณะ (2558) ได้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และศึกษาผลผลิตของแหนแดงในระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD₅, 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 กรัม/น้ำหนักแห้ง และมีประสิทธิภาพการดูดซับธาตุอาหารดีที่สุดในไตรท-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 ฅณชัย และคณะ (2554) และ Weirich et al. (2020) อธิบายว่าแหนแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย เพราะมีระบบรากฝอยจำนวนมากอยู่ใต้น้ำ ทำให้สามารถดูดซึมอาหารและมลสารอื่น ๆ ที่ปนมากับน้ำได้ดี แหนแดงเป็นพืชลอยน้ำชนิดหนึ่ง (Floating plant) ที่มีขนาดเล็กชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกในนาข้าวเพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน โดยนิยมนำมาใช้ทำปุ๋ยพืชสด เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต

เนื่องจากเหาแดงนั้นมีความสัมพันธ์กับสาหร่าย *Anabaena* sp. แบบพึ่งพาอาศัย (Mutualism) ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (Nitrogen Fixation) ทำให้เหาแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 2 - 4.5 % ของน้ำหนักแห้ง (Bocchi and Malgioglio, 2010; Watanabe and Ramirez, 1990) เหาแดงสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถให้ผลผลิตถึง 3 ตันต่อไร่ หากอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (Wongbung, 1994) แต่อย่างไรก็ตามเหาแดงนิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับในนาข้าวเท่านั้น ยังมิได้นำมาเพาะเลี้ยงและใช้ประโยชน์อย่างจริงจังในรูปของปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งยังพบว่าเหาแดงสามารถใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย (Klomje et al., 2015) โดยงานวิจัยของศิริภรณ์และฐปน (2561) ทำการเพาะเลี้ยงเหาแดงในน้ำทิ้งจากถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มสุกรทุกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งและระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงมีผลต่อการเจริญของเหาแดง เหาแดงเจริญได้ดีในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งต่ำ ๆ โดยพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 2 % เหาแดงซึ่งมีการเจริญสูงที่สุดมีน้ำหนักแห้ง $16.46 \pm 0.8 \text{ g/m}^2$ และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ 0.11 ต่อวันระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเหาแดงที่เหมาะสมคือ 2 สัปดาห์ เหาแดงที่เพาะเลี้ยงได้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 3.53 %, 0.87 % และ 7.43 % ตามลำดับ และงานวิจัยของณัฐสิมา และคณะ (2554) ศึกษาขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเหาแดงในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดถังย่อยไร้อากาศจากฟาร์มเลี้ยงสุกร เพื่อให้ได้เหาแดงที่มีปริมาณของสารอาหารที่สูงรวมทั้งการปลดปล่อยธาตุอาหารของเหาแดง เพื่อสามารถพัฒนาไปสู่การเพาะเลี้ยงเหาแดงเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับทดแทนหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมี

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาปริมาณเหาแดงที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทย ซึ่งเป็นน้ำเสียจากบ่อพักน้ำที่ไม่ผ่านระบบบำบัด จัดเป็นรูปแบบการบำบัดอย่างง่ายในระดับครัวเรือน สามารถนำไปใช้ได้จริง ผลจากการศึกษาอาจทำให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับผลของระยะการเก็บเกี่ยวและการเติมเหาแดงลงสู่ระบบต่อประสิทธิภาพของเหาแดงในการบำบัดน้ำเสีย และปริมาณผลผลิตเหาแดง

วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงปลาหมอไทยในเขตตำบลแร่ อำเภอฟังโคน จังหวัดสกลนคร มีจำนวน 10 บ่อ ตักขึ้นมาบ่อละจำนวน 100 l ด้วยวิธีจ้วง (Grab sampling) โดยนำมาผสมรวมกันในถังพลาสติกขนาด 1000 l เนื่องจากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นที่สูงจึงทำการปรับระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งด้วยน้ำบาดาลที่ระดับความเข้มข้น 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)

การเตรียมเหาแดงโดยเหาแดงที่นำมาทดลองได้มาจากโครงการทดลองของสาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยคัดจากการเลี้ยงเหาแดงที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ในการเลี้ยงเหาแดงโดยอัตราส่วน มูลสัตว์ 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน ขนาดบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงเหาแดงขนาด กว้าง 2 ม. ยาว 5 ม. และลึก 1 ม. (Figure 1)



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

การดำเนินการทดลอง ตวงน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยลงในภาชนะพลาสติกขนาดปริมาตร 5 l (กว้าง 24 ซม. ยาว 39 ซม. สูง 9 ซม.) จำนวน 15 ใบ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำเห็ดแดงซึ่งน้ำหนักชีวมวล 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 น้ำทิ้งที่ไม่ใส่เห็ดแดงเป็นตัวอย่างการควบคุม โดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ระดับชีวมวลของเห็ดแดง 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)

ทำการเก็บตัวอย่างเห็ดแดงทุกระยะเวลาที่กำหนดออกจากแต่ละหน่วยทดลอง นำตัวอย่างเห็ดแดงไปตรวจวิเคราะห์ค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งด้วยวิธีซึ่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของตัวอย่างภายหลังการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 3 วัน และวิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate: RGR) จากสมการ
$$\frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$
 เมื่อ W_1 และ W_2 คือน้ำหนักแห้งขณะเวลาเริ่มต้น (t_1) และน้ำหนักแห้งเมื่อเวลาเก็บเกี่ยว (t_2) (Beadle, 1982)



Figure 2 Examples testing

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

ผลการศึกษา

การบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดงในโรงเรือนทดลอง

น้ำทิ้งที่ศึกษาเป็นน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยทั้งหมด 10 บ่อ แล้วนำตัวอย่างมาบ่อละ 300 l นำมาบ่มรวมในถังพลาสติกขนาด 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, NH₃: Ammonia, TSS: Total Suspended Solid, TP: Total Phosphorus, TN: Total Nitrogen

การศึกษพบว่า การบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยโดยใช้แหนแดง โดยนำทิ้งมีระดับความเข้มข้น 25 % พบว่าปริมาณแหนแดง 0.2 kg และระยะเวลา 20 วัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทิ้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ภายหลังการบำบัดด้วยแหนแดงทุกดัชนีที่ตรวจวัดแสดงใน Table 2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งของระบบบำบัดในแต่ละระยะเวลามีค่า pH เท่ากับ 8.51 ± 0.44 , DO เท่ากับ 5.85 ± 2.39 , BOD₅ 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 NH₃ 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, NH₃, 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, NH₃: Ammonia, TSS: Total Suspended Solid, TP: Total Phosphorus, TN: Total Nitrogen

การศึกษาชีวมวลของแหนแดง

การบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งโดยการใช้น้ำชีวมวลของแหนแดงที่ระดับแตกต่างกันและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงชีวมวลของแหนแดงแสดงใน **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 โดยจะพบว่าผลผลิตน้ำหนัสดของแหนแดงลดลงตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น 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)	Time		
		10 day	20 day	30 day
biomass	0.2	144.05±80.21 ^a	153.30±12.61 ^a	163.00±70.16 ^b
(kg/ 50 l of	0.4	159.45±11.21 ^c	178.89±22.61 ^b	213.89±67.12 ^c
waste	0.6	175.26±17.61 ^b	189.22±27.61 ^b	215.22±68.06 ^c
water)	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.

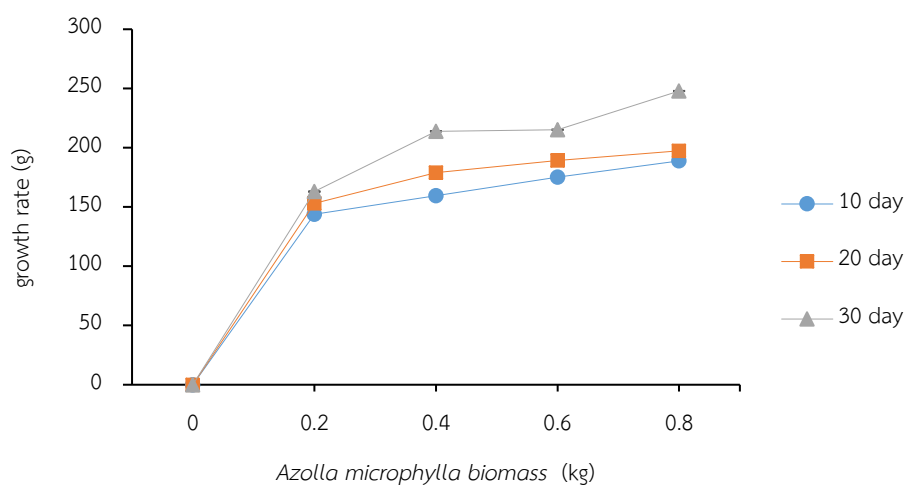


Figure 3 Relative growth rate of *Azolla microphylla* in wastewater from climbing perch culture pond at different biomass and time periods.

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแทนแดง

ผลของการปริมาณไนโตรเจนในน้ำพบว่าที่ระดับชีวมวลของแทนแดง 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) ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสพบว่าการใช้ระดับชีวมวลของแทนแดงในการบำบัดน้ำทุกชุดการทดลองมีค่าฟอสฟอรัสที่ระดับชีวมวลของแทนแดง 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 ปริมาณแทนแดง 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากที่สุด ซึ่งธาตุอาหารดังกล่าวแทนแดงจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้

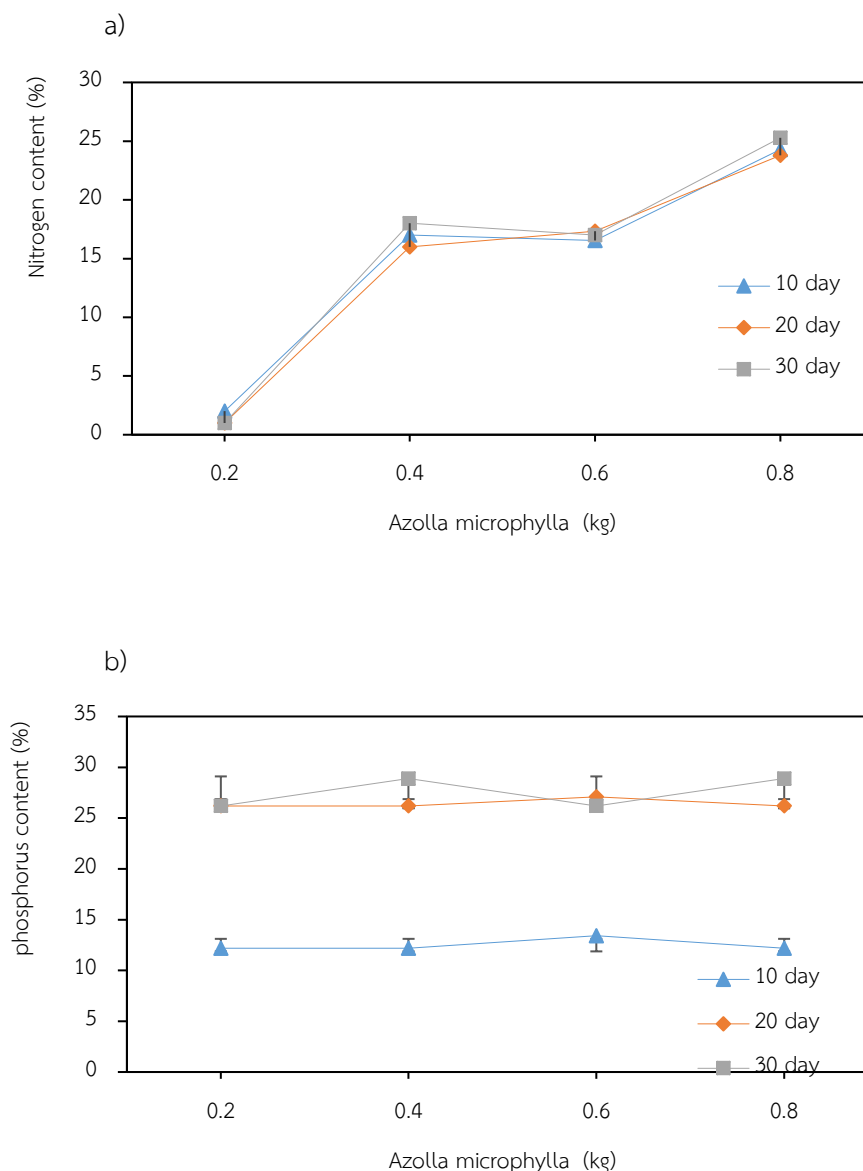


Figure 4 Nitrogen (a) and phosphorus (b) in *Azolla microphylla* after being used for treating effluent from Climbing Perch culture pond

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 ของน้ำเสีย ที่ทำการบำบัด มีค่าลดต่ำลงใน 10 วันแรกของการบำบัด แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า DO ของน้ำเสีย ในระบบบำบัดคือความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปมลสารของจุลินทรีย์ จึงทำให้ค่า DO ในน้ำเสียลดลงโดยเฉพาะในสัปดาห์แรกซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการบำบัดของระบบ จากนั้น DO จึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งเป็นผลจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายในน้ำเสียนั้นมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ค่า DO ที่เพิ่มขึ้น

ยังเกิดจากการเติมออกซิเจนจากอากาศและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ อย่างไรก็ตามการปกคลุมผิวน้ำของแพลงก์ตอนที่มีปริมาณมากเกินไปอาจขัดขวางการละลายของออกซิเจนจากบรรยากาศ และการเติมออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ pH ของน้ำเสียในระบบมีค่าผันแปรในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า pH ของน้ำเสีย ได้แก่ การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ จากการนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และการได้รับ free CO_2 , HCO_3^- , 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 แต่เกิดได้น้อยเนื่องจากแพลงก์ตอนที่มีส่วนที่จมอยู่ในน้ำไม่มากนัก ค่า BOD เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ (Limmer and Burken, 2016; Ekta and Modi, 2018) การใช้พืชบำบัดมลพิษจากสิ่งแวดล้อม (phytoremediation) เช่น การใช้แพลงก์ตอนซึ่งสามารถดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มาจากกร่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (Tulod et al., 2012; Varghese and Jacob 2016; Napaldet et al., 2019) งานวิจัยของ Unisah และ Akbari (2020) พบว่าการใช้แพลงก์ตอนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำน้ำเต้าหู้สามารถลดค่า BOD ได้ถึง 96 %

การบำบัด TSS ในน้ำเสียของระบบบำบัดโดยทั่วไปและรวมถึงระบบบำบัดด้วยพืชลอยน้ำ มักเกิดพร้อมกับการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดย TSS ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดด้วยการตกตะกอน และ TSS บางส่วนจะถูกบำบัดโดยการดูดซับติดอยู่กับวัตถุ (Chellaiah, 2018) เช่น รากหรือใบของแพลงก์ตอนที่มีสัมผัสน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากแพลงก์ตอนมีพื้นผิวสัมผัสน้อยลง ดังนั้นการดูดซับของ TSS ติดอยู่กับแพลงก์ตอนจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไม่มาก ขณะที่เศษซากของแพลงก์ตอนรวมถึงเศษสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ติดมากับแพลงก์ตอนที่เติมลงสู่ระบบ จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่า TSS และมลสารรูปอื่นให้กับน้ำเสียในระบบ นอกจากนี้การสูญเสียจากการระเหยเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเข้มข้นของ TSS ที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า TSS ในน้ำเสียของแต่ละระบบเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นจะพบว่า TSS มีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์แรกของการบำบัดอย่างชัดเจนในทุกกระบวนการลดลงของระดับ TSS อาจเกิดจากความสามารถของแพลงก์ตอน โดยงานวิจัยของการศึกษาโดย Sheena และ Harsha (2018) พบว่าการลดลงของ TSS เกิดจากความสามารถของรากพืชโดยการดูดซับ TSS ซึ่งมีผลต่อการช่วยลดปริมาณ TSS เท่ากับ 74%, 72%, 78% ด้วยเวลา 24 hr และประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นถึง 86%, 81% และ 88% ในครั้งที่ 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 ในกลุ่มบำบัดอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอินทรีย์และกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณไนโตรเจนที่สูงจากการเติมของยูเรียซึ่งละลายในน้ำและเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว (Ma et al., 2019) ผลของค่าฟอสฟอรัสรวม (TP) ลดลงส่วนใหญ่เกิดจากการตกตะกอนเคมีของฟอสฟอรัสร่วมกับ Fe, Al หรือ Ca (Wudtisn, 2005) ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนเคมีสามารถผันกลับคืนสู่รูปของสารละลายและเพิ่มค่าฟอสฟอรัสให้กับน้ำเสียได้เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า DO และ pH ของน้ำเสีย ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดในระบบจึงส่งผลต่อการลดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วย

การนำไนโตรเจนไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต (Plant and microbial uptake) โดยเฉพาะแผนแดงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไนโตรเจนในน้ำเสียมีปริมาณลดลง

ผลการศึกษาชีวมวลของแผนแดง

ผลการศึกษาชีวมวลของแผนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า ชีวมวลแผนแดงมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 678.3-1696.7 g/m² ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg ภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยในเวลา 30 วัน ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแผนแดง เป็นผลจากน้ำเสียมีธาตุอาหารที่แผนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้ โดยจะพบว่าผลผลิตน้ำหนัสดของแผนแดงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะมีฟอสฟอรัสละลายในน้ำอย่างเพียงพอและมีธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแผนแดง ทั้งนี้ผลการศึกษาอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) และผลผลิตน้ำหนักแห้งของแผนแดงที่พบค่าเป็นลบนั้นเป็นผลเนื่องจากแผนแดงที่เก็บเกี่ยวได้ในรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าน้ำหนักแห้งต่ำกว่าค่าน้ำหนักแห้งของแผนแดงตั้งต้นที่เดิมลงสู่ระบบ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลผลิตน้ำหนัสดในรอบการเก็บเกี่ยวดังกล่าวมีค่าต่ำ ประกอบกับแผนแดงจากการรอบการเก็บเกี่ยวนั้นมีค่าความชื้นสูง ซึ่งหมายถึงแผนแดงมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำสูง ดังนั้นค่าน้ำหนักแห้งและค่า RGR ของแผนแดงจึงมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Taylan and Mustafa (2019) พบว่าแผนแดงเป็นหนึ่งในพืชที่เติบโตเร็วที่สุดที่มีความสามารถเพิ่มมวลชีวภาพเป็นสองเท่าใน 5-6 วัน (Miranda et al., 2016; Pereira et al., 2015) มีการระบุว่า RGR สำหรับแผนแดงชนิด *A. pinnata* และ *A. caroliniana* เท่ากับ 0.085 และ 0.087 g·g⁻¹·day⁻¹ ตามลำดับ ในขณะที่เวลาเมื่อชีวมวลเพิ่มเป็นสองเท่าสำหรับพืชชนิดเดียวกันเท่ากับ 8.29 และ 7.98 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาการทดลองของ *A. microphylla* พบว่าอัตรา RGR คือ 0.133 g·g⁻¹·day⁻¹ ซึ่งชีวมวลเพิ่มเป็นสองเท่าในเวลา 8.6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับ *A. pinnata* โตเร็วกว่า *A. caroliniana*

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแผนแดง

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในแผนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนรวมสูงสุดเท่ากับ 25.28±0.00 % (p<0.05) และที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของแผนแดงมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อปริมาณไนโตรเจน ในแผนแดงเพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะภายนอกที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนคือ แผนแดงจะมีสีเขียวสด การสะสมของปริมาณไนโตรเจนในแผนแดงเกิดจากกระบวนการไหล (Mass flow) โดยกระบวนการนี้ส่วนใหญ่จะเกิดเมื่อพืชมีการคายน้ำและพืชสามารถดูดซับน้ำที่หายไป (Miller and Donahue, 1990)

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในแผนแดงภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยพบว่า 0.8 kg มีค่าไนโตรเจนรวมสูงสุดเท่ากับ 28.89±0.15 % (p<0.05) และที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 วัน เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในแผนแดงมาวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Formi et al. (2001) ซึ่งพบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียลดลงเมื่อบำบัดน้ำโดยใช้แผนแดง (*Azolla filiculoides* Lam) โดยแผนแดงกำจัดไนโตรเจนในรูป NO₃⁻ ในน้ำเสียจากชุมชนการเกษตรและเหมืองแร่ ได้อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ส่วนฟอสฟอรัสในรูป PO₄⁻³ มีปริมาณน้อยมากในน้ำเสียชุมชนและการเกษตร ส่วนน้ำเสียจากเหมืองแร่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสลดลง สำหรับความสามารถในการเจริญเติบโตพบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 70 % ของผิวน้ำในบ่อบำบัดแผนแดงสามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้ดีกว่าน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ

สรุป

การศึกษากการบำบัดน้ำทิ้งบ่อปลาหมอไทยโดยใช้แผนแดงซึ่งพบว่าที่ปริมาณแผนแดงคือ 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 ส่วนปริมาณแผนแดง 0.8 kg และระยะเวลา 20 วัน ทำให้มีค่า NH₃ = 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/m² ที่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 kg ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตของแหนแดงที่ทำการศึกษานี้เป็นผลมาจากในน้ำเสียมีธาตุอาหารที่แหนแดงสามารถจะดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตและสามารถเพิ่มมวลชีวภาพได้ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การศึกษาปริมาณไนโตรเจนของแหนแดงมากที่สุดเท่ากับ 25.28±0.00 % และปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดเท่ากับ 28.89±0.15 % ที่ปริมาณแหนแดง 0.8 kg ภายหลังใช้บำบัดน้ำทิ้ง 30 วัน

คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยด้วยการสนับสนุนและความร่วมมือจากคณาจารย์เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำในด้านการดำเนินโครงการวิจัย 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 โทจันทร์, ชูลีมาศ บุญไทย อิวาย และมงคล ต๊ะอุ้น. 2554. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้แหนแดง. น. 779-783. ใน: รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 12 วันที่ 28 มกราคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น.
- พันธุ์ทิพย์ กลมจักร, วิชา หอมหวน, ดำรงค์ศักดิ์ สุวรรณศรี และนุชนันท์ ผลฤทธิ์. 2558. การบำบัดน้ำเสียสุกรการใช้เฟิร์นน้ำ (*Azolla microphylla*) ในระบบบำบัดน้ำเสียพืชน้ำลอยน้ำ. ขอนแก่นวารสารวิทยาศาสตร์. 43(4): 698-714.
- ภณชัย สุขแก้ว, ธนวรรณ พาณิพิพัฒน์ และธิดิยา แซปง. 2554. การใช้พืชน้ำบางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้าราชบุรี. น. 786-791. ในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2554. ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสนนครปฐม จ. นครปฐม.
- ศิริภรณ์ ชื่นบาล และฐปน ชื่นบาล. 2565. การศึกษาการเจริญ การสะสม และการปลดปล่อยธาตุอาหารของแหนแดงที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12(1): 86-96.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- APHA. AWWA. WEF. 1998. Standard Method for the Examination for Water and Wastewater. 20th 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. Buot Jr, M.T. Zafaralla, I.L. Lit Jr, 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 NaHSO₄ 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 Jurnal 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.