

การประเมินคุณภาพน้ำ สถานะสารอาหาร และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของ
ผู้ผลิตมวลชีวภาพในระบบนิเวศแหล่งน้ำนิ่ง เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Assessment of Water Quality, Trophic Status and Carbon Dioxide
Captured by Biomass Producers in the Lentic Ecosystem of
Chiang Rai Rajabhat University

กิตติชัย จันธิมา*, กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง และสุทธิดา ต๊ะตา

Kittichai Chantima*, Kittawit Suk-ueng and Sutthida Tata

¹ โปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100

¹ Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Chiang Rai Rajabhat University 57100

*Corresponding author E-mail: kittichai.cha@crju.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ สถานะสารอาหาร และประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพ ดำเนินการศึกษาในพื้นที่หนองบัว มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และเก็บตัวอย่างน้ำโดยวิธีการจ้วงทั้งหมด 3 จุด จุดละ 5 ครั้ง ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงกันยายน พ.ศ. 2564 วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ประเมินสถานะสารอาหารในแหล่งน้ำ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสง สารอาหารกับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $233.46 \pm 200.97 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $856.80 \pm 737.57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ สำหรับการประเมินสถานะสารอาหารในแหล่งน้ำจากปริมาณฟอสฟอรัสรวม พบว่าอยู่ในระดับสารอาหารสูงมาก ขณะที่ผลการประเมินสถานะสารอาหารในแหล่งน้ำจากค่าความโปร่งแสงของน้ำ พบว่าอยู่ในระดับสารอาหารสูง ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจน ค่าความโปร่งแสง กับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

คำสำคัญ : ผู้ผลิตมวลชีวภาพ, การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์, แหล่งน้ำนิ่ง, สถานะสารอาหาร, คุณภาพน้ำ

Abstract

The objective of this study was to investigate water quality, trophic status, and assess the CO₂ capture by biomass producers. Water samples were collected using grab sampling from three sampling sites and five times in Nong Bua of Chiang Rai Rajabhat University area during August-September 2021, and subsequently examined for physico-chemical water quality, Net primary Productivity (NPP) and CO₂ captured. The trophic status of water sources was evaluated, and the relationship between Secchi transparency, nutrients, and CO₂ capture by biomass producers was analyzed. The examined of the physico-chemical properties of water indicated that the water quality index predominantly aligns with established criteria for type 2 surface

water. The mean NPP was $233.46 \pm 200.97 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, whereas the biomass producers captured an average of $856.80 \pm 737.57 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ of CO_2 . Furthermore, the assessment based on Trophic State Index (TSI), which take into account total phosphorus, indicated that all water sources were in a hypereutrophic, whereas an assessment based on TSI measurements of Secchi transparency values classed all water sources as eutrophic. The regression analysis revealed significant relationships ($p < 0.001$) between CO_2 capture and the total phosphorus, nitrate nitrogen, and Secchi transparency.

Keywords : Biomass producer, Carbon dioxide capture, Lentic water, Trophic status, Water quality

บทนำ

ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) เป็นปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่ควรสะท้อนกลับแต่กลับถูกดูดกลืนไว้โดยโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ภายในชั้นบรรยากาศ เมื่อเวลาผ่านไปทำให้โมเลกุลเหล่านี้มีพลังงานสูงขึ้นซึ่งสามารถถ่ายเทพลังงานซึ่งกันและกันได้ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ผลที่ตามมาคืออุณหภูมิภายในชั้นบรรยากาศของโลกและในมหาสมุทรสูงขึ้นอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (IPCC, 2014) โดยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่นในอนาคตคาดว่าผลกระทบของภาวะโลกร้อนจะรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดการปล่อยมลพิษและการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศของผู้ผลิตมวลชีวภาพในระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทราบถึงการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การศึกษาการผลิตขั้นปฐมภูมิ (Primary productivity) สามารถใช้อธิบายปริมาณพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยผู้ผลิตได้ การผลิตขั้นปฐมภูมิแบ่งออกเป็นการผลิตขั้นปฐมภูมิมรวม (Gross Primary Productivity: GPP) ซึ่งเป็นพลังงานทั้งหมดที่ถูกสะสมจากการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือสังเคราะห์ทางเคมีโดยผู้ผลิต และการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (Net Primary Productivity: NPP) ซึ่งคืออัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิมรวมที่ได้หักพลังงานส่วนที่ใช้ในการหายใจของผู้ผลิตออกไปแล้ว ดังนั้น NPP จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของระบบนิเวศในการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ได้ (Miller and Spoolman, 2009; Reich et al., 2001) ทั้งนี้มีรายงานการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของ NPP ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมไว้ในระบบนิเวศ และมีรายงานว่าในระบบนิเวศแหล่งน้ำที่มีผู้ผลิต เช่น สาหร่ายขนาดเล็กและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชบก (Costa et al., 2000; Langley et al., 2012)

การศึกษครั้งนี้ใช้พื้นที่หนองบัว มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยและพื้นที่เขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ประชาชนที่อาศัยโดยรอบหนองบัวใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการเกษตร ประมง และผลิตน้ำประปา พื้นที่ของหนองบัวมีชุมชนตั้งถิ่นฐานอยู่โดยรอบเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ ปริมาณขยะตกค้างสะสมในปริมาณมาก และการตกค้างของสารพิษในสิ่งแวดล้อม ตลอดจนปัญหาการปลดปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดเชียงราย, 2563) ส่งผลให้หนองบัวมีการปนเปื้อน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ สถานะสารอาหาร และประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพจาก NPP ของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสง และสารอาหารกับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพ

วิธีดำเนินการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ หนองบัวในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กำหนดจุดศึกษาทั้งหมด 3 จุดเก็บตัวอย่าง โดยเลือกจุดที่ไม่มีการรบกวนจากกิจกรรมต่าง ๆ และสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ตามวิธีการของ Alberta Environmenta (2006) ซึ่งเก็บตัวอย่างจุดละ 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งห่างกัน 7 วัน ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 (ภาพที่ 1)

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ: เก็บตัวอย่างน้ำโดยวิธีการจ้วงเก็บ (Grab sampling) ที่ระดับความลึกตรงจุดกึ่งกลางของความลึก Secchi depth เพื่อทำการศึกษาคูณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ณ จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดภาคสนาม จากนั้นเก็บรักษาสาหร่ายตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำกลับมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ:

1) คุณภาพน้ำทางกายภาพ: อุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม (Eutech, CON400) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม (Eutech, CD650) ความขุ่นของน้ำตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดความขุ่น (Hach, 2100Q) ความโปร่งแสงของน้ำตรวจวัดโดยใช้ Secchi dish และอุณหภูมิอากาศตรวจวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

2) คุณภาพน้ำทางเคมี: ความเป็นกรด-ด่างของน้ำและความเค็มตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม (Eutech, PCD650) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ตรวจวัดโดยใช้วิธี Azide modification of the Winkler ความเป็นต่างของน้ำตรวจวัดโดยใช้วิธี Phenolphthalein methyl orange indicator ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจน ฟอสฟอรัสรวม เหล็ก และแมงกานีส ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมีจำเพาะกับเครื่อง Spectrophotometer ของ Hach company (DR 2010) ตามวิธีการของ Greenberg et al. (2005)

2.3 ประเมินคุณภาพน้ำผิวดิน: เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537



ภาพที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
(ที่มา : QGIS Development Team, 2021)

3. การวัดปริมาณผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและการประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

3.1 วัดปริมาณ NPP โดยใช้วิธีการของ Vollenweider (1969) ดังนี้

- 1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างและตรวจวัด ณ เวลา 10.00 น. และ 13.00 น. โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างใส เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดกึ่งกลางของความลึก Secchi depth
- 2) วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำเริ่มต้น (DO_1) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนาม (Eutech, PCD 650) จากนั้นทำการปิดผนึกขวดเก็บตัวอย่างใส และแขวนไว้ที่จุดกึ่งกลางของความลึก Secchi depth เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) เมื่อครบกำหนด นำขวดเก็บตัวอย่างใสขึ้นมาวัดค่าของออกซิเจนละลายน้ำสุดท้าย (DO_2) และประเมิน NPP จากสมการที่ 1 (Lind, 1985) ดังนี้

$$NPP \text{ (mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}) = \frac{\Delta DO \text{ (mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}) * 1000 \text{ (l} \cdot \text{m}^{-3}) * \text{Secchi depth (m)}}{2.67 \text{ mgO}_2 \cdot \text{mgC}^{-1}} \quad (1)$$

เมื่อ	NPP	คือ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ
	ΔDO	คือ $DO_2 - DO_1$
	Secchi depth	คือ ความโปร่งแสงของน้ำ

3.2 ประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแปลงจากค่า NPP เนื่องจาก 1 mgC ของ NPP จะถูกผลิตจากคาร์บอนไดออกไซด์ 3.67 mg ตามสมการการสังเคราะห์ด้วยแสง

4. การประเมินดัชนีสถานะสารอาหาร

ประเมินสถานะสารอาหารในแหล่งน้ำโดยใช้ Carlson Trophic State Index (TSI) ด้วยปริมาณฟอสฟอรัสรวม (TSI Total phosphorus: TSI-TP) และค่าความโปร่งแสงของน้ำ (TSI Secchi transparency: TSI-ST) (Carlson and Simpson, 1996) โดยใช้สมการที่ 2 และ 3 ดังนี้

$$\text{TSI-TP} = 14.42 * \ln(\text{total phosphorus; TP}) + 4.15 \quad (2)$$

เมื่อ TSI-TP คือ การประเมินดัชนีสถานะสารอาหารด้วยปริมาณฟอสฟอรัสรวม
TP คือ ปริมาณฟอสฟอรัสรวม ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)

$$\text{TSI-ST} = 60 - 14.41 * \ln(\text{Secchi transparency; ST}) \quad (3)$$

เมื่อ TSI-ST คือ การประเมินดัชนีสถานะสารอาหารด้วยความโปร่งแสงของน้ำ
ST คือ ความโปร่งแสงของน้ำ (m)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความโปร่งแสงและสารอาหารกับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพ โดยการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS V. 22.0

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาคณภาพน้ำ สถานะสารอาหาร และการประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่หนองบัว มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย แสดงได้ดังนี้

1. คุณภาพทางกายภาพ-เคมีของน้ำ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของแหล่งน้ำ พบว่า ความโปร่งแสงของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.45–1.86 m ความขุ่นของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 2.26–32.10 NTU ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 1.97–2.42 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ อุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 30.3–32.6 °C ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 3.5–6.7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 3.85–5.55 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ความเป็นด่างของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 1.70–4.10 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ as CaCO_3 ค่าความเค็มมีค่าอยู่ในช่วง 0.011–0.012 ppt ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 53.10–66.30 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.20–5.60 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{N}$ ปริมาณฟอสฟอรัสรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.04–2.11 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{P}$ ปริมาณเหล็กและแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 0.39–1.80 และ 0.00–0.90 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2–4 สำหรับความโปร่งแสงของน้ำ ความขุ่น ความเป็นด่าง ค่าความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า เหล็ก ฟอสฟอรัสรวม และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ทั้งหมดไม่มีในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ต่ำสุด-สูงสุด)		
	จุดเก็บตัวอย่างที่ 1	จุดเก็บตัวอย่างที่ 2	จุดเก็บตัวอย่างที่ 3
ความขุ่น (NTU)	5.21±1.20 (4.05–6.86)	3.17±1.13 (2.26–5.06)	20±7.3 (13.80–32.10)
ความโปร่งแสง (m)	1.622±0.24 (1.25–1.86)	1.16±0.26 (1.25–2.00)	0.55±0.10 (0.45–0.70)
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg·l ⁻¹)	2.30±0.04 (2.29–2.42)	2.31±0.04 (2.23–2.36)	2.07±0.09 (1.97–2.18)
อุณหภูมิ (°C)	31.6±0.55 (31.1–32.5)	31.5±0.65 (30.9–32.6)	30.4±0.16 (30.3–30.6)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg·l ⁻¹)	4.95±0.55 (4.28–5.55)	4.27±0.49 (3.85–5.03)	4.15±0.60 (3.36–4.90)
ความเป็นกรด-ด่าง	6.2±0.43 (5.7–6.6)	5.8±1.34 (3.5–6.7)	5.7±1.1 (3.1–6.6)
ความเป็นด่าง (mg·l ⁻¹ as CaCO ₃)	2.86±0.77 (1.70–3.70)	2.74±0.57 (2.00–3.40)	3.02±0.75 (2.00–4.10)
ความเค็ม (ppt)	0.012±0.00	0.012±0.00	0.011±0.0004 (0.011–0.012)
การนำไฟฟ้า (μS·cm ⁻¹)	57.90±2.65 (57.00–64.10)	60.10±3.70 (56.30–66.30)	55.10±1.95 (53.10–57.40)
ไนเตรทไนโตรเจน (mg·l ⁻¹ ·N)	1.62±1.11 (0.20–2.80)	2.18±1.18 (0.20–3.30)	2.10±2.09 (0.40–5.60)
เหล็ก (mg·l ⁻¹)	0.85±0.46 (0.47–1.59)	0.75±0.59 (0.39–1.80)	1.27±0.46 (0.45–1.58)
ฟอสฟอรัสรวม (mg·l ⁻¹ ·P)	0.74±1.20 (0.05–3.00)	0.79±0.89 (0.05–2.11)	0.25±0.25 (0.04–0.58)
แมงกานีส (mg·l ⁻¹)	0.18±0.13 (0.0–0.30)	0.38±0.35 (0.00–0.90)	0.22±0.19 (0.00–0.50)

2. ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

การประเมิน NPP พบว่า จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 126±78.13, 412.2±225.94 และ 162.2±153.27 mgC·m⁻²·day⁻¹ ตามลำดับ เมื่อนำ NPP มาคำนวณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพ พบว่า ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 462.42±286.74, 1,512.71±829.30 และ 595.27±562.50 mg·m⁻²·day⁻¹ ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพของแหล่งน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	DO ₁ (mg·l ⁻¹)	DO ₂ (mg·l ⁻¹)	ΔDO (mg·l ⁻¹)	ST (m)	NPP (mgC·m ⁻² ·day ⁻¹)	CO ₂ (mg·m ⁻² ·day ⁻¹)
1	23/08/64	4.60	5.10	0.50	1.86	34	124.78
	30/08/64	4.28	4.60	0.32	1.70	203	745.01
	07/09/64	5.55	5.76	0.21	1.80	141	517.47
	13/09/64	4.68	4.80	0.12	1.25	56	205.52
	20/09/64	5.48	5.83	0.35	1.50	196	719.32
	ค่าเฉลี่ย	4.95±0.55	5.21±0.55	0.3±0.14	1.62±0.24	126±78.13	462.42±286.74
2	23/08/64	5.03	5.85	0.82	1.65	506	1,857.02
	30/08/64	3.85	4.86	1.01	1.55	586	2,150.62
	07/09/64	4.02	4.86	0.84	2.00	629	2,308.43
	13/09/64	4.54	4.86	0.32	1.60	191	700.67
	20/09/64	3.94	4.26	0.32	1.25	149	546.83
	ค่าเฉลี่ย	4.27±0.49	4.93±0.57	0.66±0.32	1.61±0.26	412.2±225.94	1,512.71±829.30
3	23/08/64	3.36	4.49	1.13	0.60	253	928.51
	30/08/64	4.90	5.54	0.64	0.50	119	436.73
	07/09/64	3.77	4.06	0.29	0.50	54	198.18
	13/09/64	4.28	4.31	0.03	0.45	5	18.35
	20/09/64	4.46	5.91	1.45	0.70	380	1,394.60
	ค่าเฉลี่ย	4.15±0.60	4.86±0.81	0.70±0.58	0.55±0.1	162.2±153.27	595.27±562.50
ค่าเฉลี่ยรวม		4.44±0.62	5.00±0.62	0.55±0.41	1.26±0.55	233.46±200.97	856.80±737.57

3. สถานะสารอาหารของแหล่งน้ำ

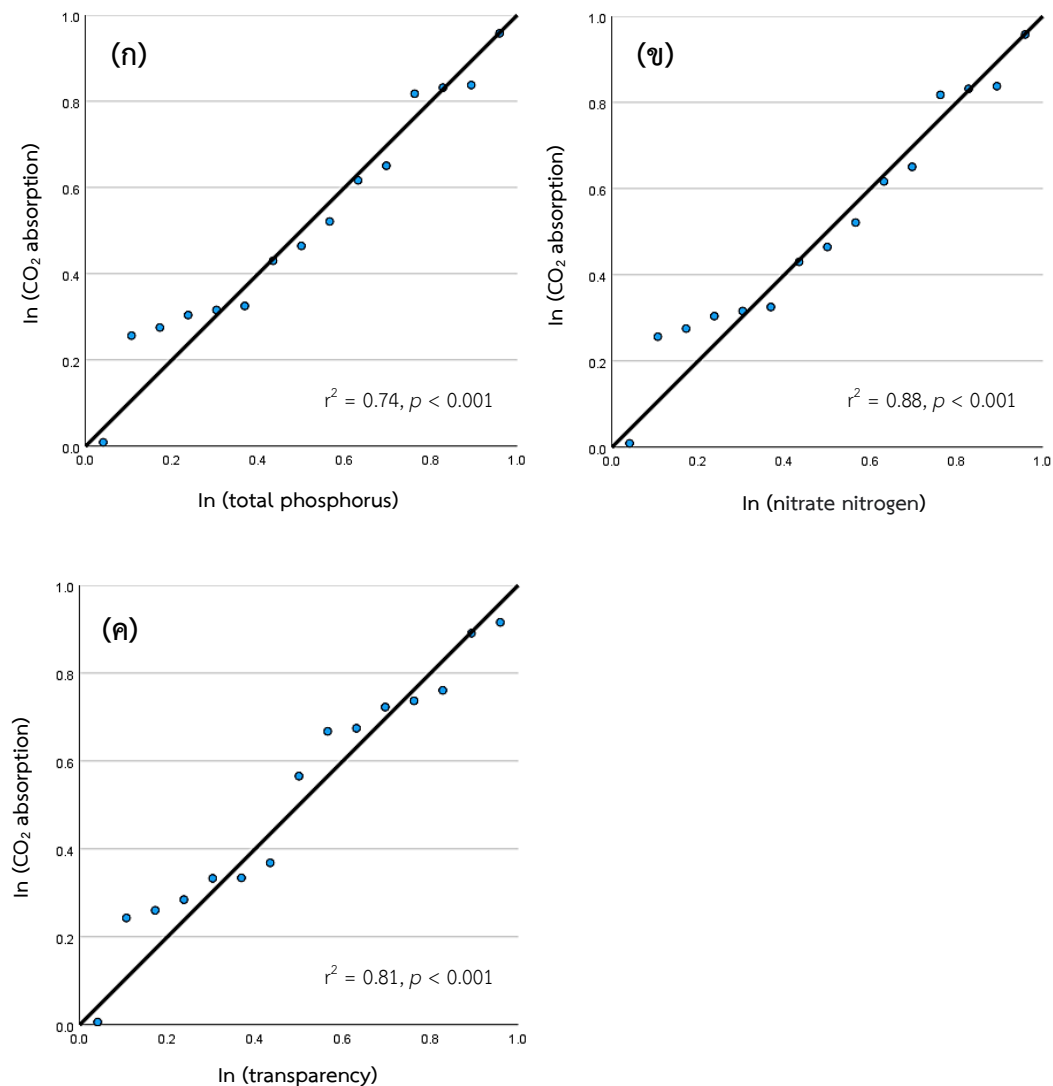
การประเมินสถานะสารอาหารของแหล่งน้ำจากดัชนีสถานะสารอาหารด้วยปริมาณฟอสฟอรัสรวม พบว่า ทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 82.72 ± 21.03 โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.69 ± 24.48 , 88.85 ± 23.21 และ 76.64 ± 17.78 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในสถานะ Hypereutrophic (สารอาหารสูงมาก) สำหรับการประเมินสถานะสารอาหารของแหล่งน้ำจากดัชนีสถานะสารอาหารโดยความโปร่งแสงของน้ำ พบว่า ทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 58.98 ± 7.68 โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.86 ± 3.58 , 53.294 ± 2.41 และ 68.79 ± 2.53 ตามลำดับ จัดอยู่ในสถานะ Eutrophic (สารอาหารสูง) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีสถานะสารอาหารและสถานะสารอาหารของแหล่งน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	วันที่	ดัชนีสถานะสารอาหารจากปริมาณฟอสฟอรัสรวม			ดัชนีสถานะสารอาหารจากความโปร่งแสง		
		TP ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	TSI-TP	trophic status	ST (m)	TSI-ST	trophic status
1	23/08/64	230	82.56	Hypereutrophic	1.86	51.05	Eutrophic
	30/08/64	50	60.56	Eutrophic	1.70	52.35	Eutrophic
	7/09/64	390	90.18	Hypereutrophic	1.80	60	Eutrophic
	13/09/64	3,000	119.60	Hypereutrophic	1.25	56.78	Eutrophic
	20/09/64	50	60.56	Eutrophic	1.50	54.15	Eutrophic
	ค่าเฉลี่ย	744 ± 1269.08	82.69 ± 24.48	Hypereutrophic	1.62 ± 0.24	54.86 ± 3.58	Eutrophic
2	23/08/64	2,110	114.52	Hypereutrophic	1.65	52.78	Eutrophic
	30/08/64	50	60.56	Eutrophic	1.55	53.68	Eutrophic
	7/09/64	100	70.55	Eutrophic	2.00	50.01	Eutrophic
	13/09/64	410	90.90	Hypereutrophic	1.60	53.22	Eutrophic
	20/09/64	1,320	107.76	Hypereutrophic	1.25	56.78	Eutrophic
	ค่าเฉลี่ย	798 ± 893.17	88.85 ± 23.21	Hypereutrophic	1.61 ± 0.26	53.294 ± 2.41	Eutrophic
3	23/08/64	470	92.87	Hypereutrophic	0.60	67.36	Eutrophic
	30/08/64	150	76.40	Hypereutrophic	0.50	69.98	Eutrophic
	7/09/64	40	57.34	Eutrophic	0.50	69.98	Eutrophic
	13/09/64	580	95.90	Hypereutrophic	0.45	71.50	Hypereutrophic
	20/09/64	50	60.56	Eutrophic	0.70	65.13	Eutrophic
	ค่าเฉลี่ย	258 ± 250.53	76.64 ± 17.78	Hypereutrophic	0.55 ± 0.1	68.79 ± 2.53	Eutrophic
ค่าเฉลี่ยรวม		600 ± 877.04	82.72 ± 21.03	Hypereutrophic	1.26 ± 0.55	58.98 ± 7.68	Eutrophic

4. ความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหาร ความโปร่งแสง และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจน ไนโตรเจน ความโปร่งแสง และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณฟอสฟอรัสรวม ($r^2 = 0.74$, $p < 0.001$) ปริมาณไนโตรเจน ($r^2 = 0.88$, $p < 0.001$) และความโปร่งแสงของน้ำ ($r^2 = 0.81$, $p < 0.001$) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณฟอสฟอรัสรวม (ก) ไนเตรทไนโตรเจน (ข) และค่าความโปร่งแสงของน้ำ (ค)

วิจารณ์ผลการศึกษา

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของน้ำโดยรวม พบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 คือ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท สามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง และการว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ สอดคล้องกับรายงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหนองบัวใหญ่และหนองบัวน้อย ซึ่งเป็นแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเช่นเดียวกัน โดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการเป็นดัชนีชี้วัด พบว่าคุณภาพน้ำจัดอยู่ในประเภทเดียวกัน (ศิริจัญญา และ อนุกุล, 2548)

การวิเคราะห์ NPP พบว่า จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 126 ± 78.13 , 412.2 ± 225.9 และ $162.2 \pm 153.27 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ ทั้งนี้จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีค่า NPP มากกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด จากการสังเกตเบื้องต้นพบแพลงก์ตอนพืชปริมาณมากในจุดเก็บตัวอย่างดังกล่าว ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำและเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อ NPP (Çelekli and Lekesiz, 2021; Pal and

Choudhury, 2014) และเมื่อเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า พบว่าในแหล่งน้ำอื่น ๆ ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศเดียวกันมีค่า NPP สูงกว่าค่า NPP ของแหล่งน้ำในการศึกษารั้งนี้ เช่น การศึกษาในอ่างเก็บน้ำสระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งมีค่า NPP เฉลี่ยเท่ากับ $767 \pm 448 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Phrommarat and Buaweche, 2020) การศึกษาในทะเลสาบบนพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำพรหมบุตร ประเทศอินเดีย มีค่า NPP เฉลี่ยเท่ากับ $548 \pm 87.767 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Baruah, 2003) การศึกษาในโตนเลสาบ ประเทศกัมพูชา มีค่า NPP อยู่ระหว่าง $1,700\text{--}2,400 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Holtgrieve et al., 2013) การศึกษาในทะเลสาบในรัฐอัสสัม ประเทศอินเดีย มีค่า NPP อยู่ระหว่าง $110\text{--}1,750 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Sugunan and Bhattacharjya, 2000) และการศึกษาในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขง มีค่า NPP อยู่ระหว่าง $4,000\text{--}302,000 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Hiroki et al., 2020) โดยค่า NPP จากการศึกษารั้งนี้มีค่าต่ำอาจเนื่องมาจากการศึกษารั้งนี้เก็บตัวอย่างเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งในฤดูกาลนี้มีอุณหภูมิของน้ำและความเข้มแสงต่ำ ทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงไปได้น้อย ส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Phrommarat and Buaweche, 2020)

การประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพที่คำนวณจากค่า NPP พบว่าจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด มีค่าอยู่ในช่วง $124.78\text{--}745.01$, $546.83\text{--}2,308.43$ และ $18.35\text{--}1,394.60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ตามลำดับ โดยค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า NPP เนื่องมาจากค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์คำนวณได้จากค่า NPP แสดงให้เห็นแนวโน้มเดียวกันกับผลลัพธ์ของค่า NPP และเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Phrommarat and Buaweche (2020) พบว่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพในอ่างเก็บน้ำสระแก้วมีค่าสูงกว่าการศึกษารั้งนี้มาก อาจเนื่องมาจากการศึกษาครอบคลุม 3 ฤดูกาล ซึ่งการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าฤดูฝน และฤดูหนาวอย่างเห็นได้ชัด โดยในช่วงฤดูร้อนมีความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ขณะที่การศึกษารั้งนี้ทำการศึกษาเฉพาะฤดูฝน ซึ่งมีความเข้มแสงต่ำ ทำให้ผู้ผลิตมวลชีวภาพมีอัตราการผลิตมวลชีวภาพลดลง ส่งผลให้มีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพต่ำไปด้วย (Guildford et al., 2007; Singh et al., 2018) อย่างไรก็ตาม การศึกษาพบว่ามีสารอาหารสูงกว่าอ่างเก็บน้ำสระแก้วมาก ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้แหล่งน้ำเกิดการสะสมของสาหร่าย (Algae bloom) นำไปสู่ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ได้ ส่งผลให้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแหล่งน้ำสูงขึ้นได้ แต่อาจเกิดการขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำได้เช่นเดียวกัน

การประเมินดัชนีสถานะสารอาหารด้วยปริมาณฟอสฟอรัสรวม พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับสารอาหารสูงมาก อย่างไรก็ตาม การศึกษาในฤดูฝนอาจทำให้เกิดการชะล้างฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดบนภาคพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำมากน้อยแตกต่างกันไปในช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากมาก เพื่อให้ผลการศึกษารอบคลุมมากขึ้นควรดำเนินการเพิ่มช่วงระยะเวลาการศึกษาในฤดูกาลและเพิ่มจุดเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น หรือดำเนินการศึกษาให้ครบทุกฤดูกาลในรอบปี สำหรับผลประเมินดัชนีสถานะสารอาหารด้วยความโปร่งแสงของน้ำ พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 อยู่ในระดับสารอาหารสูง ซึ่งมีระดับสารอาหารที่ต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 เนื่องจากแสงส่องลงไปได้ลึกกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 โดยที่สถานะสารอาหารของจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 อยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงสูงมาก เนื่องจากมีค่าความโปร่งแสงเฉลี่ยอยู่ที่ $0.55 \pm 0.1 \text{ m}$ ซึ่งน้อยกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งแสงส่องผ่านลงได้น้อยกว่าทำให้ชัดเจนหรือลดการสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตลดลง อย่างไรก็ตามความลึกที่แสงส่องถึงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำไม่ควรน้อยกว่า $0.30\text{--}0.60 \text{ m}$ ซึ่งจากการศึกษารั้งนี้ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อผู้ผลิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำ (วรพงศ์, 2558)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหาร ความโปร่งแสง กับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสรวม ($r^2 = 0.74, p < 0.001$) ไนโตรเจน ($r^2 = 0.88, p < 0.001$) กับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อแหล่งน้ำมีปริมาณสารอาหารมาก ทำให้ให้ผู้ผลิตในแหล่งน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์กับความโปร่งแสงของน้ำมีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ($r^2 = 0.81, p < 0.001$) โดยที่เมื่อค่าความโปร่งแสงสูงจะทำให้ปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงไปได้น้อย ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น เพิ่มปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ และส่งผลทำให้การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ชีระวิทย์, 2548)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาคุณภาพน้ำ สถานะสารอาหาร และการประเมินการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่หนองบัว มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 2 โดย NPP ในแหล่งน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $233.46 \pm 200.97 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ และมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยผู้ผลิตมวลชีวภาพมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $856.80 \pm 737.57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ สำหรับสถานะสารอาหารของแหล่งน้ำโดยใช้ดัชนีสถานะสารอาหารด้วยปริมาณฟอสฟอรัสรวมและความโปร่งแสงของน้ำ พบว่าอยู่ในระดับสารอาหารสูงมากและสารอาหารสูง ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหาร ค่าความโปร่งแสงของน้ำ กับการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ และเครื่องมือในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. 2548. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอย. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง. 2558. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- ศิริจัญญา ตาสติ และ อนุกุล จิตชัยเจริญกุล. 2548. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำหนองบัวใหญ่และหนองบัวน้อยโดยใช้ปัจจัยทางด้านกายภาพเคมีและชีวภาพบางประการเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. เชียงราย
- สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดเชียงราย. 2563. ข้อมูลสภาพปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาลำต้นของตำแหน่งการกีดขวางทางน้ำ จังหวัดเชียงราย. แหล่งข้อมูล: <https://blockage.crflood.com/report/pdf/B00261>. ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2563.

- Alberta Environment. 2006. *Aquatic ecosystems field sampling protocol*. Edmonton: Alberta Environment.
- Baruah, P.P. 2003. Primary productivity status of a reclaimed ox-bow beel of middle assam. *Geobios*. 30: 49-52.
- Carlson, R.E., and J. Simpson. 1996. *A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods*. North American Lake Management Society.
- Çelekli, A., and Ö Lekeşiz. 2021. Limno-ecological assessment of lentic ecosystems in the western Mediterranean basin (Turkey) using phytoplankton indices. *Environmental science and pollution research international*. 28: 3719–3736.
- Costa, J.A.V., G.A. Linde, and D.I.P. Atala. 2000. Modelling of growth conditions for cyanobacterium *Spirulina pletensis* in microcosm. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 16: 15-18.
- Greenbreg, A.E., L.S. Clescerri, and A.D. Eaton. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th Edition. American Public Health Association (APHA).
- Guildford, S.J., H.A. Bootsma, W.D. Taylor, and R.E. Hecky. 2007. High variability of phytoplankton photosynthesis in response to environmental forcing in oligotrophic lake Malawi/Nyasa. *Journal of Great Lakes Research*. 33: 170-185.
- Hiroki, M., N. Tomioka, T. Murata, A. Imai, T. Jutagate, C. Preecha, P. Avakul, P. Phomikong, and M. Fukushima. 2020. Primary production estimated for large lakes and reservoirs in the Mekong river basin. *Science of the Total Environment*. 747: 141133.
- Holtgrieve, G.W., M.E. Arias, K.N. Irvine, D. Lamberts, E.J. Ward, M. Kumm, J. Koponen, J. Sarkkula, and J.E. Richey. 2013. Patterns of ecosystem metabolism in the Tonle Sap lake, Cambodia with links to capture fisheries. *Plos One*. 8: e71395.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policy makers*. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Accessed Jan. 27, 2024.
- Langley, N.M., S.T.L. Harrison, and R.P. Van Hille. 2012. A critical evaluation of CO₂ supplementation to algal systems by direct injection. *Biochemical Engineering Journal*. 68: 70-75.
- Lind, O.T. 1985. *Handbook of common methods in limnology*. 2nd Edition. Kendall/Hunt.
- Miller, G.T., and S.E. Spoolman. 2009. *Essentials of ecology*. 5th Edition. Brooks/Cole.
- Pal, R., and A.K. Choudhury. 2014. Phytoplanktons and primary productivity. In: *An Introduction to phytoplanktons: Diversity and ecology*. Springer.
- Phommarat, B., and D. Buawech. 2020. Assessment of carbon dioxide captured in producer biomass and its influencing factors in a tropical freshwater reservoir. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*. 13: 25–33.
- QGIS Development Team. 2021. *QGIS Geographic Information System*. Available: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Accessed May 14, 2021.

- Reich, P.B., J. Knops, D. Tilman, J. Craine, D. Ellsworth, M. Tjoelker, T. Lee, D. Wedin, S. Naeem, D. Bahauddin, G. Hendrey, S. Jose, K. Wrage, J. Goth, and W. Bengston. 2001. Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO₂ and nitrogen deposition. *Nature*. 410: 809-810.
- Singh, A.K., R. Kumari, and A. Kumar. 2018. The contribution of phytoplankton to the primary production in floodplain lakes (chaurs) of north Bihar, India. *International Journal of Ecology and Development Research*. 4: 44-52.
- Sugunan, V.V., and B.K. Bhattacharjya. 2000. *Ecology and fisheries of beels in Assam bulletin No. 104*. Central Inland Fisheries Research Institute.
- Vollenweider, R.A. 1969. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. Blackwell Scientific.