



การใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติก ร่วมกับ เพลงก่ตอนพีช และ คลอโรฟิลล์ ในการ
ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง และคณะ

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
มิถุนายน 2569

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยเพื่อการพัฒนา ประเภท
การวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้หรือนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568



การใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติก ร่วมกับ แพลงก์ตอนพืช และ คลอโรฟิลล์
ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

กฤตวิษณุ สุขอึ้ง
ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์
กิตติชัย จันธิมา

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
มิถุนายน 2569

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยเพื่อการพัฒนา
ประเภทการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้หรือนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย สัญญาเลขที่ B368022 เรื่อง การใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับแฟลงก์ตอนพืชและคลอโรฟิลล์ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

กฤตวิชญ์ สุขอึ้ง

มิถุนายน 2569

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับแพลงก์ตอนพืชและคลอโรฟิลล์ในการประเมิน
ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

ชื่อผู้วิจัย : นาย กฤตวิทย์ สุขอึ้ง และคณะ

สาขาวิชา/คณะ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ : 2569

ระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยปี : มิถุนายน 2568 ถึง มิถุนายน 2569

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล และประมาณค่าคลอโรฟิลล์-เอ ของแพลงก์ตอนพืชโดยประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงจำนวน 10 จุด ผลการศึกษาพบ แพลงก์ตอนพืชรวมทั้งสิ้น 7 ดิวิชัน 78 สกุล และ 107 ชนิด การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธี AARL-PP Score พบว่าสถานะแหล่งน้ำในฤดูหนาวอยู่ในระดับสารอาหารปานกลาง และคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลางซึ่งเป็นช่วงที่คุณภาพน้ำดีที่สุดของการศึกษา ค่าคลอโรฟิลล์-เอในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($6.05 \pm 5.92 \mu\text{g/L}$) เมื่อพิจารณาทั้งสามฤดูกาลพบว่า ค่า pH และค่า NO_3^--N ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานขณะที่ค่า DO และ BOD มีความแปรปรวนตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ผลจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝนมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าไนเตรตไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกพบว่าการใช้แบนด์ 2, แบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ของดาวเทียม Terra-MODIS สามารถทำนายโอกาสการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ฤดูกาล ได้

คำสำคัญ : ความอุดมสมบูรณ์, แพลงก์ตอนพืช, คลอโรฟิลล์ เอ, ปัจจัยสิ่งแวดล้อม, ระบบภูมิสารสนเทศ

Abstract

Research Title : Using logistic regression models with phytoplankton and chlorophyll to assess of enrichment status of Nong Luang wetlands, Chiang Rai Province.

Author : Mr. Krittawit Suk-ueng

Faculty : Faculty of Science and Technology

Fiscal Year : 2026

Year of Research : June 2025 to June 2026

This study aimed to assess the trophic status, study the relationship between phytoplankton and environmental factors of the Wetland using canonical correlation analysis, and estimate chlorophyll-a concentrations of phytoplankton by integrating satellite imagery with a logistic regression model at 10 sampling sites in Nong Luang Wetland. The results revealed a total of 7 divisions, 78 genera, and 107 species of phytoplankton. Water quality assessment using the AARL-PP Score indicated that trophic status in the winter season had a mesotrophic status and exhibited moderate water quality, representing the finest water quality condition observed during the study. The average chlorophyll-a concentration was highest in the summer season ($6.05 \pm 5.92 \mu\text{g/L}$). Considering all three seasons, pH and NO_3^- -N values were generally within standard criteria, whereas DO and BOD showed significant seasonal variation. The results of canonical correlation analysis demonstrated that chlorophyll-a concentration during the rainy season was significantly correlated with pH ($p < 0.01$). In winter season, chlorophyll-a concentration was significantly correlated with biochemical oxygen demand ($p < 0.01$). In summer season, chlorophyll-a concentration showed a significant relationship with nitrate-nitrogen concentration ($p < 0.01$). the results of logistic regression analysis indicated that bands 2, 3, and 4, achieved from the Terra-MODIS satellite, could be used to predict the probability of phytoplankton bloom occurrence across all three seasons.

Keywords : Enrichment, Phytoplankton, Chlorophyll a, Environmental factor, Geoinformatics

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
Abstract.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญภาพ.....	viii
 บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
ขอบเขตการศึกษา.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
เพลงก่ตอนพีชและคลอโรฟิลล์.....	4
การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล.....	7
ระบบภูมิสารสนเทศ.....	7
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	11
พื้นที่ศึกษา.....	12
กลุ่มตัวอย่าง.....	13
การเก็บข้อมูล.....	13
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	14
4 ผลการวิจัย	
ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของเพลงก่ตอนพีช.....	16
โครงสร้างชุมชนเพลงก่ตอนพีชและความหลากหลายทางชีวภาพตามฤดูกาล..	32
การประเมินคุณภาพน้ำ.....	33
การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ.....	34

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	35
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง.....	44
ผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกส์ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม..	50
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	
การศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช.....	59
โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและความหลากหลายทางชีวภาพตามฤดูกาล..	59
การประเมินคุณภาพน้ำ.....	60
การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ.....	66
การประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกส์ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	67
บรรณานุกรม.....	69
ประวัติผู้วิจัย.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย.....	23
2 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาวของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย.....	26
3 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย.....	29
4 ค่าความหลากหลาย ความหนาแน่น และโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ใน 3 ฤดูกาล.....	32
5 การประเมินคุณภาพน้ำตามวิธี AARL-PP Score.....	34
6 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย.....	35
7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูฝนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย..	38
8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูหนาวของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย.....	39
9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย	40
10 ค่าเฉลี่ยและช่วงค่าที่วัดได้ของคุณภาพน้ำพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงรายทั้ง 3 ฤดูกาล.....	41
11 การประเมินความสอดคล้องของคุณภาพน้ำผิวดินของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจำแนกตามฤดูกาล.....	43
12 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในฤดูฝน.....	45
13 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว.....	46
14 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อน.....	47
15 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูฝน.....	48
16 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูหนาว.....	49
17 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูร้อน.....	49
18 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝน.....	50
19 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว.....	51
20 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อน.....	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝน.....	54
22	การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว.....	56
23	การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ คลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อน.....	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนผังการดำเนินการศึกษา.....	11
2 จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 10 จุด ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง.....	12
3 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในแต่ละติวชันของฤดูฝน.....	17
4 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในแต่ละติวชันของฤดูหนาว.....	18
5 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในแต่ละติวชันของฤดูร้อน.....	19
6 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในฤดูฝน.....	20
7 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงรายในฤดูหนาว...	21
8 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในฤดูร้อน....	22
9 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ติวชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูฝน.....	48
10 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ติวชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูหนาว.....	48
11 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ติวชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูร้อน.....	49
12 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2568 (ชุดข้อมูลที่ MYD09GA.A2025257.h27v07.061. 2025259031032.hdf).....	52
13 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2568 (ชุดข้อมูลที่ MYD09GA.A2025341.h27v07.061. 2025343024459).....	53
14 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2569 (ชุดข้อมูลที่ MOD09GA.A2026064.h27v07.061. 2026065013609.NRT.hdf).....	53
15 โอกาสการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝน.....	55
16 โอกาสการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาว.....	57
17 โอกาสการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อน.....	58

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หนองหลวงเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ของจังหวัดเชียงรายจัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับชาติ ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ 2 อำเภอ คือ อำเภอเวียงชัย และอำเภอเมืองเชียงราย มีพื้นที่ประมาณ 9,000 ไร่ สภาพพื้นที่จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่มีการไหลเวียนไม่ต่อเนื่อง (Lentic environment series) โดยมีการไหลของน้ำในทางน้ำเฉพาะฤดูน้ำหลากเท่านั้น ส่วนในฤดูแล้งหนองหลวงมีลักษณะสภาพเป็นพื้นที่น้ำท่วมขัง แต่บางบริเวณน้ำขึ้นเขิน และน้ำแห้งขอดซึ่งในอดีตหนองหลวงเคยจัดเป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงโดยมีลักษณะพื้นที่เป็นน้ำสลับกับพื้นที่เกาะ จำนวน 8 เกาะ ต่อมาได้มีการปรับปรุงและพัฒนาหนองหลวงบนแนวคิดเชิงเศรษฐกิจโดยมีการพัฒนาพื้นที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว เช่น วัด ร้านอาหาร จุดชมวิว จุดให้อาหารปลา รวมถึงมีการสร้างคันเก็บกักน้ำปิดกั้นหนองหลวง การสร้างฝาย และการเกษตรสมัยใหม่ที่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการผลิต ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นหากไม่มีการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบจากหลายหน่วยงาน คนในชุมชน และนักท่องเที่ยวอาจก่อให้เกิดปัญหาเชิงระบบนิเวศได้ เช่น แหล่งน้ำเสื่อมโทรม และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตลดลง ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำลดลงไปด้วย (วิทยา มาสะ, 2558)

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำสามารถประเมินได้จากความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช คลอโรฟิลล์ เอ ระดับของธาตุอาหารในรูปฟอสฟอรัส และไนโตรเจนเป็นต้น (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2558) แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ลอยลอยตามกระแสน้ำ ส่วนใหญ่เซลล์มีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบจึงสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้จึงจัดเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศ เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชมีทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยว อยู่รวมกันเป็นโคโลนี หรือเซลล์อยู่รวมกันเป็นลักษณะเส้นสายซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำนิ่งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำทะเล โดยมีการใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีทางชีวภาพของแหล่งน้ำ (Hegewald et al., 1978) แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีแหล่งที่อยู่อาศัยและช่วงความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดไวต่อสภาพริตซ์หรือออกซิไดซ์ในแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ง่าย ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันจึงมีแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ไม่เหมือนกัน (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549) อีกทั้งแพลงก์ตอนพืชยังเป็นแหล่งอาหารขั้นต้นของสัตว์น้ำทั้งในระบบนิเวศทางทะเลและระบบนิเวศน้ำจืด เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิที่สามารถผลิตอาหารได้เองผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งจะถูกรับโดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ เมื่อแพลงก์ตอนสัตว์บริโภคแพลงก์ตอนพืชเพื่อการเจริญเติบโตแล้ว สัตว์ขนาดเล็กชนิดอื่น ๆ ก็จะได้รับโภชนาการจากแพลงก์ตอนสัตว์ต่อไปเป็นทอดและกลายเป็นสายใยอาหาร ดังนั้นแพลงก์ตอนพืชจึงมีบทบาทสำคัญต่อความสมดุลในแหล่งน้ำ หากขาดแพลงก์ตอนพืช สิ่งมีชีวิตในสายใยอาหารจะได้รับผลกระทบทั้งหมด นอกจากนี้จำนวนแพลงก์ตอนพืชยังบ่งชี้ถึงค่าความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ โดยเมื่อแพลงก์ตอนพืชมาก ก็จะมีแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์น้ำมากตามไปด้วย (รุ่งรวิน อนุรักษภราดร และคณะ, 2565)

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญแสดงถึงสถานภาพของแหล่งน้ำมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำทุกระดับของระบบห่วงโซ่อาหาร ตั้งแต่ผู้ผลิตขั้นต้น

จนถึงสัตว์น้ำขนาดใหญ่ โดยปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในแหล่งน้ำเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของผู้ผลิตชั้นปฐมภูมิ และส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุที่อยู่ในเซลล์ของผู้ผลิตและสามารถตรวจวัดได้จากแพลงก์ตอนพืช จึงนิยมนำค่าของคลอโรฟิลล์ เอ มาเป็นตัวแสดงปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำซึ่งข้อมูลคุณภาพน้ำนอกจากจะได้จากการตรวจวัดภาคสนามและนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแล้วยังพบว่า ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำผ่านการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล (Canonical Correspondence Analysis: CCA) สามารถศึกษาความสัมพันธ์เชิงซ้อนระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ (Kondowe et al., 2022; Gómez-Figueroa et al., 2023) และการใช้ดัชนีเชิงคลิ่นที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก (Logistic regression model) เพื่อหาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของค่าคลอโรฟิลล์ เอ ในแหล่งน้ำ และประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้วิธีการพิสูจน์แบบไขว้ (Cross validation) ช่วยประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ (กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธ์ และจิราพร ออนมันคง, 2567; Moëzzi et al., 2020; King et al., 2022) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำโดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล และประมาณค่าคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกโดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประกอบในการติดตามสถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำหนองหลวง นอกจากนี้ยังสามารถเป็นข้อมูลในการกำหนดทิศทางการอนุรักษ์และใช้ประเมินศักยภาพของพื้นที่ในการรองรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะมีต่อไปในอนาคต และเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยใช้แพลงก์ตอนพืช และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำโดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล
- 3) เพื่อประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อแพลงก์ตอนพืช

ขอบเขตการศึกษา

- 1) ขอบเขตด้านระยะเวลาที่ศึกษา: เดือนมิถุนายน 2568 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2569
- 2) ขอบเขตด้านสถานที่ศึกษา: พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ใช้เป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับแบบจำลองความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้ แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกส์ร่วมกับแฟลงก์ตอนพืช คลอโรฟิลล์ เอ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับงานวิจัยด้านนิเวศวิทยาน้ำจืดและคุณภาพน้ำ
- 2) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลชนิดของแฟลงก์ตอนพืช ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง และแบบจำลองการพยากรณ์ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงไปใช้ประโยชน์ได้
- 3) นำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงแบบมีส่วนร่วมระหว่างหน่วยงานภาครัฐและชุมชน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แพลงก์ตอนพืชและคลอโรฟิลล์

แพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่ลอยอยู่ในน้ำ มีทั้งที่อยู่เป็นเซลล์เดี่ยว อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์ (Colony) และเส้นสาย (Filament) (Graham and Wilcox, 2000) ภายในเซลล์มีคลอโรฟิลล์ เป็นองค์ประกอบจึงสามารถสร้างอาหารเองได้ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งให้ผลพลอยได้เป็นก๊าซออกซิเจน แพลงก์ตอนพืชจึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำและเป็นแหล่งอาหารเบื้องต้นของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ แพลงก์ตอนพืชจัดเป็นผู้ผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศและสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำ เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีแหล่งที่อยู่อาศัย และช่วงความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549) แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดไวต่อสภาพแวดล้อมหรือออกซิไดซ์ในแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ง่าย ในแหล่งน้ำที่แตกต่างกันจึงมีแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แพลงก์ตอนพืชในการตรวจสอบสถานะของแหล่งน้ำและใช้แบ่งชั้นคุณภาพน้ำตามความสมบูรณ์ของสารอาหารได้ เริ่มตั้งแต่แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Oligotrophic status) ซึ่งจะพบ สาหร่ายสีเขียวพวกเดสมีดส์ เช่น *Staurastrum* sp. ไดอะตอม เช่น *Cyclotella* sp. สาหร่ายคริสโซไฟท์ เช่น *Dinobryon* sp. พวกสาหร่ายสีเขียว เช่น *Oocystis* sp. และสาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น *Ceratium* sp. แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง (Mesotrophic status) ซึ่งจะพบสาหร่ายสีเขียว เช่น *Pediastrum* sp. สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น *Ceratium* sp. และไดอะตอม เช่น *Navicula* sp. และแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Eutrophic status) ซึ่งจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะพวก *Microcystis* sp., *Achonizomenon* sp. และ *Dolichospermum* sp.

คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืชโดยพบมากที่ใบของพืช นอกจากนี้ยังพบได้ในสาหร่ายเกือบทุกชนิด คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลักในคลอโรพลาสต์ มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงสีแดงและน้ำเงินมาก แต่สะท้อนแสงสีเขียว สาหร่ายทุกชนิดมีคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุหลักซึ่งจัดว่าเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้น (Primary photosynthetic pigment) สามารถดูดกลืนพลังงานแสงด้วยตนเอง ส่วนคลอโรฟิลล์ชนิดอื่น ๆ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นที่สอง (Secondary photosynthetic pigment) ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปยังคลอโรฟิลล์ เอ อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นคลอโรฟิลล์ เอ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2558) มีรายงานการศึกษาคุณภาพน้ำและการประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์โดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ เป็นดัชนีชี้วัดในแม่น้ำอิงตอนบนและตอนกลางในรอบปี (พ.ศ. 2560) พบว่าความอุดมสมบูรณ์จัดอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณมลพิษรวมถูกปลดปล่อยจากแหล่งชุมชนเมืองเข้าสู่แหล่งน้ำมากที่สุด ปริมาณมลพิษจากธาตุอาหารส่วนใหญ่มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง และปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อคลอโรฟิลล์ เอ คือ ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการกำหนดแผนการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทางน้ำในพื้นที่แม่น้ำอิงตอนบนและตอนกลาง (กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ และคณะ, 2563)

ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เจริญในแหล่งน้ำมีหลายปัจจัยซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแหล่งน้ำ ยากที่จะจัดจำแนกออกได้อย่างชัดเจนและเนื่องมาจากน้ำมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น ๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในแหล่งน้ำ ได้แก่ ปัจจัยด้านกายภาพ และด้านเคมี อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ มีผลทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในแหล่งน้ำ โดยจะมีผลต่อกระบวนการทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยอุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำ การละลายของธาตุและแก๊สในน้ำ การแบ่งชั้นของน้ำ ความหนืด การหมุนเวียนของแร่ธาตุต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ (นันทนา คชเสนี, 2544) แสงมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ในน้ำ ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นจะเกิดได้ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 390 - 710 นาโนเมตร ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ส่องลงไปใต้น้ำจะถูกดูดซับโดยมวลของน้ำและสารที่ละลายน้ำ รวมทั้งสารแขวนลอยในน้ำ แพลงก์ตอนพืชเจริญได้ดีในบริเวณใกล้ผิวน้ำเนื่องจากมีแสงเหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญของแพลงก์ตอนพืชจะลดลงตามระดับความลึกของน้ำ แต่ถ้าบริเวณผิวน้ำมีความเข้มแสงมากเกินไป แพลงก์ตอนพืชจะอพยพลงสู่ที่ลึก เพื่อให้ได้แสงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต โดยแสงที่ส่องผ่านลงในแหล่งน้ำมีผลต่อการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืช อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ระยะทางที่แสงสามารถส่องผ่านน้ำและสะท้อนกลับมา สามารถศึกษาได้โดยการวัดความลึกโดยใช้จานวัดความโปร่งแสง (Secchi disc) นอกจากนี้ปริมาณแสงยังมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล โดยในช่วงฤดูร้อนจะมีการแพร่กระจาย และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชมาก เนื่องจากในฤดูร้อนจะมีแสงแรงตลอดวันทำให้แสงที่ส่องลงสู่แหล่งน้ำมาก แต่ในทางกลับกันในฤดูหนาว และฤดูฝน ท้องฟ้ามีเมฆบังทำให้ปริมาณแสงน้อย (เบญจมาภรณ์ รุจิตร, 2556) ความขุ่นของน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับแสง แสงจะส่องผ่านผิวน้ำได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำเป็นสำคัญ โดยความขุ่นของน้ำเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เช่น แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่เล็กมากจนถึงขนาดใหญ่ สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก และไม่ตกตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติปกติจะมีขนาดตั้งแต่ 1 - 100 μm และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สารแขวนลอยเหล่านี้ อาจเกิดจากการรวมตัวกันของอะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปก็ได้ (ศรีสมร สิทธิกาญจนกุล, 2560) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) โดยทั่วไปแล้วน้ำธรรมชาติจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.0 - 9.0 แต่ช่วงความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีค่าอยู่ในช่วง 6.5 - 8.5 น้ำธรรมชาติส่วนมากจะมีค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 7 ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากในน้ำมีปริมาณไอออนพวกโบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) เป็นค่าคงที่ที่แสดงถึงความสามารถของน้ำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิด และปริมาณของไอออนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่แตกตัวละลายอยู่ในน้ำ และเป็นค่าที่อธิบายถึงปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย ค่าการนำไฟฟ้าใช้ในการคาดคะเนผลของประจุไฟฟ้าต่างๆ ที่มีผลต่อสมดุลทางกายภาพและเคมีซึ่งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิต (ธงชัย พรหมสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์, 2540) ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีจะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150 - 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ แสดงว่าแหล่งน้ำมีมลพิษ (กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2566) ซึ่งมีผลต่อการเจริญของสาหร่ายบางชนิดได้ นอกจากนี้

อุณหภูมิยังมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าโดยค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 2.5 % ทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้น (นันทนา คชเสนี, 2544) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) เป็นปัจจัยที่สำคัญในระบบนิเวศ การละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิต่ำออกซิเจนจะละลายได้มากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง (วิจิตร รัตนพานี และคณะ, 2533) นอกจากนี้ความกดอากาศก็มีผลต่อการละลายออกซิเจนเช่นกัน โดยถ้าความดันบรรยากาศสูงออกซิเจนจะละลายได้มาก แต่ถ้าความดันอากาศต่ำออกซิเจนก็ละลายได้น้อยไปด้วย (Wetzel, 2001) โดยก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมาจากบรรยากาศหรือมาจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของพืชน้ำต่าง ๆ รวมทั้งแพลงก์ตอนพืชด้วย (ลานทอง จิตสุทธิ, 2549) โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำในน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ 5 – 7 มิลลิกรัม/ลิตร และถ้าออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (นันทนา คชเสนี, 2544) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand: BOD) โดยทั่วไปหากแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ แบคทีเรียก็จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ดังนั้น ถ้ามีสารอินทรีย์ในน้ำมากขึ้น ออกซิเจนในน้ำก็จะถูกแบคทีเรียใช้ไปมากขึ้นตามไปด้วย ในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมีค่า BOD ไม่เกิน 6 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมอนามัย, 2537) ปัจจัยทางเคมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ สารอาหาร (Nutrients) เนื่องจากสาหร่ายจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในกิจกรรมของเอนไซม์และในกิจกรรมของกระบวนการเมตาบอลิซึม (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) สารอาหารเป็นอาหารที่แพลงก์ตอนพืชใช้ในการเจริญเติบโต สารอาหารจำเป็นที่มีปริมาณน้อยที่สุดจะเป็นตัวจำกัดธาตุอาหารอื่น ๆ โดยแพลงก์ตอนพืชจะนำธาตุอาหารที่ต้องการไปใช้จนกว่าสารอาหารจำเป็นที่มีปริมาณน้อยที่สุดจะถูกใช้หมดตามกฎ law of limiting factor ซึ่งธาตุอาหารที่สำคัญและมีจำกัด คือ แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟต (Wetzel, 2001) โดย Chapman and Chapman (1975) กล่าวว่าแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนเตรต แกลือแอมโมเนีย และไนโตรเจนอินทรีย์เป็นแหล่งสำคัญสำหรับการเจริญเติบโต สารอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในระบบนิเวศวิทยา คือ ฟอสฟอรัส (phosphorus) รูปของฟอสฟอรัสที่พบมากและเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศแหล่งน้ำและการเจริญของแพลงก์ตอนพืช ได้แก่ Soluble reactive phosphorus โดยธาตุอาหารดังกล่าวจะเข้ามาปะปนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนส่วนใหญ่มาจากสารซักล้าง ภาคการเกษตรใช้ปุ๋ยจำพวกฟอสเฟตในรูปของออร์โธฟอสเฟตเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาฟอสเฟตส่วนเกินก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของฟอสเฟตจะถูกพืชนำไปใช้ได้มากที่สุด และเนื่องจากฟอสเฟตสามารถละลายน้ำได้ดีจึงมีปริมาณมากกว่าฟอสเฟตอินทรีย์ที่ละลายอยู่มาก แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่มีปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำมากจะทำให้พืชน้ำและสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วปกคลุมผิวน้ำจะส่งผลเสียต่อแหล่งน้ำได้ คือ เกิดปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้นแย่งใช้ออกซิเจนในเวลากลางคืน มีผลให้สัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้นตายเพราะขาดออกซิเจนได้ (ธนิตรา อินทโสทธิ, 2549) ซึ่งในปี พ.ศ. 2551 พชร บุญศิริ และคณะ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในแม่น้ำมูลเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการท่องเที่ยวตามลำน้ำมูล โดยศึกษาคุณภาพน้ำที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา และที่อำเภอเมือง

อำเภอพิบูลมังสาหาร อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นบริเวณที่มีศักยภาพในการท่องเที่ยวสูง พบว่าน้ำมูลในพื้นที่ดังกล่าวมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการท่องเที่ยวทางน้ำ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดที่พบในระบบนิเวศจะมีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้น ๆ (ทัศนพร คุณประดิษฐ์, 2543)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชุดของตัวแปรอิสระและชุดของตัวแปรตามโดยตัวแปรอิสระจะมีตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป และตัวแปรตามมีมากกว่า 2 ตัว โดยศึกษาและเก็บข้อมูลการวัดตัวแปรเหล่านั้นมาวิเคราะห์ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552) ซึ่งสามารถบอกอัตรา และแบบแผนความสัมพันธ์สูงสุดระหว่างตัวแปรสองกลุ่มจากข้อมูลชุดเดียวกันได้ เช่น วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของเพลงก่ตอนพีชและปัจจัยสิ่งแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นกรดต่าง, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ฟอสฟอรัสรวม, ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ สารแขวนลอยรวม และสารแขวนลอยอินทรีย์) โดยใช้ฐานข้อมูล 10 ปี (ช่วงฝนตกหนัก และช่วงที่แห้งแล้งยาวนาน) จากอ่างเก็บน้ำกัลเกียราส (Gargalheiras reservoir) ในประเทศบราซิล โดยใช้สหสัมพันธ์คาโนนิคอลร่วมกับการใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกซึ่งสามารถช่วยเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำภายใต้สภาวะทางอุทกวิทยาสุดขั้ว และคาดการณ์ความสัมพันธ์ระหว่างเพลงก่ตอนพีชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมซึ่งมีความสำคัญต่อการจัดการและการอนุรักษ์น้ำ (Costa et al., 2023)

ระบบภูมิสารสนเทศ

ระบบภูมิสารสนเทศเป็นระบบที่ใช้ในการสำรวจ วิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลทางภูมิศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับหน่วยงาน หรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการ และติดตามทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทั้งทรัพยากรที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และทรัพยากรที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับการสำรวจภาคสนาม (สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์, 2551; จริญญา บุญญานุภาพ, 2557) เช่น ในปี พ.ศ. 2562 วิรัตน์ สนิทมัจโร และคณะ ได้ศึกษาคุณภาพน้ำ และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ MODIS ในน่านน้ำไทย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลอโรฟิลล์จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ MODIS รายเดือนกับข้อมูลคลอโรฟิลล์ เอ ที่เก็บจากภาคสนามด้วยเรือสำรวจประมง ในช่วง พ.ศ. 2555 พบว่าส่วนใหญ่มีความสอดคล้องคล้อยกัน

การประเมินความถูกต้องด้วยแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกเป็นการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยนำปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ลักษณะทางธรณี ปริมาณน้ำฝน ชุมดิน ความลาดชัน ระดับความสูงของพื้นที่ ทิศลาดเขา ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ และการใช้ประโยชน์ที่ดินมาวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องทางสถิติเพื่อจัดทำแผนที่ ดังนั้น แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกจึงถูกนำมาใช้เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม (Binary logistic) โดยค่าที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 (สมการที่ 1)

$$Pr = \frac{e^Z}{1+e^Z} \quad (1)$$

โดย $Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$ ซึ่งอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นที่ประกอบไปด้วยปัจจัย n ตัว และ Pr คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดสถานการณ์ต่าง ๆ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (สวีสต์ชัย ศรีพนมธนากร, 2548)

หนองหลวงเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำของประเทศไทย เป็นพื้นที่กักเก็บน้ำ เป็นพื้นที่อยู่อาศัยของนกประจำถิ่นและพืชน้ำ และเป็นแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการประมง เช่น เลี้ยงปลากระชัง และทำการเกษตร พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ที่สุดของจังหวัดเชียงรายอยู่ในพื้นที่ 2 อำเภอ คือ อำเภอเวียงชัย และอำเภอเมืองเชียงราย สภาพพื้นที่จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่มีการไหลเวียนไม่ต่อเนื่องโดยมีการไหลของน้ำในทางน้ำเฉพาะฤดูน้ำหลากเท่านั้น ส่วนในฤดูแล้งหนองหลวงมีลักษณะเป็นพื้นที่น้ำท่วมขัง แต่บางบริเวณน้ำตื้นเขิน และน้ำแห้งขอด ในอดีตหนองหลวงเคยมีความอุดมสมบูรณ์สูง มีลักษณะพื้นที่เป็นน้ำสลับกับพื้นที่ เกาะ จำนวน 8 เกาะ ต่อมาได้มีการปรับปรุงและพัฒนาหนองหลวงบนแนวคิดฐานเศรษฐกิจโดยมีการพัฒนาพื้นที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว เช่น วัด แพ ร้านอาหาร จุดชมวิว และจุดให้อาหารปลา รวมถึงมีการสร้างคันเก็บกักน้ำปิดกั้นหนองหลวง การสร้างฝาย และการทำการเกษตรสมัยใหม่ที่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการผลิต หากไม่มีการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบจากหลายหน่วยงานและคนในชุมชน รวมถึงนักท่องเที่ยวอาจก่อให้เกิดปัญหาเชิงระบบนิเวศได้ เช่น แหล่งน้ำเสื่อมโทรม และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตลดลง ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำลดลงไปด้วย (วิทยา มาสะ, 2558)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนิษฐา มาลัยวรรณ (2553) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล ประเทศไทย และอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจี้ม ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว พบแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล 6 ดิวิชัน 42 จินัส 63 สปีชีส์ ขณะที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจี้ม พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 5 ดิวิชัน 38 จินัส 74 สปีชีส์ และจากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น และคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการแบบสหสัมพันธ์ พบว่า *Cylindrospermopsis raciborskii* Woloszynska Seenayya & Subba Raju และแพลงก์ตอนพืชในกลุ่ม Cyanophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า DO ปริมาณ SRP และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ส่วนในอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจี้ม พบว่า *Straurastrum tetracerum* Ralfs มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า pH และค่า BOD แพลงก์ตอนพืชในกลุ่ม Zygnemaphyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า DO และปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

อนุชา เพียรชนะ และคณะ (2555) ศึกษาแพลงก์ตอนชนิดเด่นในการชี้วัดคุณภาพน้ำโดยทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำใน แม่น้ำมูลตอนล่าง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 รวมทั้งหมด 3 ครั้ง จำนวน 6 สถานี พบว่าแพลงก์ตอนพืชที่พบมากที่สุดทั้ง 3 ฤดู คือ กลุ่ม Chlorophyceae (Green algae) คิดได้เป็นร้อยละ 46.23 รองลงมาได้แก่ แพลงก์ตอนสัตว์กลุ่ม Euglenophyceae (Euglenoid) คิดเป็นร้อยละ 18.36 ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มที่พบบ่อย และพบมากที่สุด คือ ไพลัม Rotifera (Rotifers) คิดได้เป็นร้อยละ 41.6 รองลงมา

ได้แก่ ไฟลัม Protozoa (Protozoans) คิดได้เป็นร้อยละ 18.5 ในส่วนของระดับคุณภาพน้ำ พบว่าในช่วงฤดูหนาว คุณภาพน้ำค่าบีโอดีทุกสถานมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน โดยภาพรวมแล้ว พบว่าคุณภาพน้ำในลำน้ำมูลตอนล่างอยู่ในสถานภาพเสี่ยงภัยถึงสถานภาพสมดุล ยิ่งไปกว่านั้นในบางพื้นที่พบว่ามีค่าดัชนีบางค่าของคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมจึงต้องมีการเฝ้าระวังและการประเมินผลอย่างต่อเนื่อง

ปริญญามูลสิน (2555) ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่และคุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำเข้ อำเภอดงหลวง จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่างเดือนมีนาคม - กันยายน พ.ศ. 2556 ใน 3 ฤดูกาล 10 จุด จุดละ 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบสาหร่ายชนิดเด่น คือ *Spirogyra* sp. 1 รองลงมา คือ *Spirogyra* sp. 2, *Oedogonium* sp., *Microspora* sp. และ *Spondylosium* sp. ตามลำดับ ผลการศึกษาคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ 29.3°C อุณหภูมิน้ำ 28.0°C ค่าความเป็นกรด - ด่าง 6.57 ค่าความเป็นด่าง 25.58 mg/L ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 7.95 mg/L ค่าออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ 3.02 mg/L ค่าความลึกที่แสงส่องถึง 109.25 เซนติเมตร ค่าการนำไฟฟ้า 47.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ คลอโรฟิลล์เอ 5.4 $\mu\text{g}/\text{L}$ ออร์โธฟอสเฟต 0.024 mg/L ไนเตรทไนโตรเจน 0.039 mg/L ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด 300 MPN/100 ml และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 208 MPN/100ml จัดได้ว่าอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำเข้มีสารอาหารน้อยถึงปานกลาง และเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ถึง 3 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้ PCA พบว่า *Spirogyra* sp. 2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคลอโรฟิลล์ เอ

Back et al (2015) พัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์ค่าคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) และไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ในทะเลสาบแดซอง (Daecheong Lake) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat TM และ ETM+ ร่วมกับข้อมูลภาคสนามจากโปรแกรมติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำระยะยาวของทะเลสาบแดซอง (Daecheong Lake's Long-Term Water Quality Monitoring Program) และระบบเตือนภัยสาหร่าย (Algae Alarm System: AAS) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด 3 แห่ง ในช่วงปี ค.ศ. 2004-2012 และวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multi-linear Regression) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat TM และ ETM+ ช่วงคลื่น 1, 2 และ 4 เพื่อคาดการณ์ค่าคลอโรฟิลล์-เอ และไซยาโนแบคทีเรีย ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร สามารถติดตามการแพร่กระจายของไซยาโนแบคทีเรียในทะเลสาบแดซองได้

Costa et al (2023) ใช้ฐานข้อมูล 10 ปี (ช่วงฝนตกหนัก และช่วงที่แห้งแล้งยาวนาน) จากอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในเขตกึ่งแห้งแล้งในเขตร้อนของประเทศบราซิล และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นกรดต่าง, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ฟอสฟอรัสรวม, ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ สารแขวนลอยรวม และสารแขวนลอยอนินทรีย์) โดยใช้สหสัมพันธ์คานิคออลร่วมกับการใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติก ผลจากการศึกษาพบว่า ค่า R^2 ที่สูงที่สุด ($R^2 = 0.54$) อยู่ในกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของแพลงก์ตอนพืช และปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยในฤดูฝน กลุ่มของแพลงก์ตอนตามอนุกรมวิธาน (Taxonomic groups) เกี่ยวข้องกับปัจจัยความลึกที่มากที่สุด (Z_{max}), ความโปร่งใสของน้ำ, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และความเป็นกรดต่าง ส่วนในฤดูแล้ง กลุ่มของแพลงก์ตอนตามอนุกรมวิธานเกี่ยวข้องกับปัจจัยสารแขวนลอยอนินทรีย์,

ฟอสฟอรัสรวม และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งเกี่ยวข้องกับ euglenophytes และ cryptophytes เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยความลึกที่มากที่สุด และสารแขวนลอยอินทรีย์ (ค่า AIC เท่ากับ 19.57) เป็นตัวคาดการณ์ที่ใช้ในแบบจำลองที่ดีที่สุดในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งช่วยเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำภายใต้สภาวะทางอุทกวิทยาสุดขั้ว และคาดการณ์ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมซึ่งสำคัญต่อการจัดการ และการอนุรักษ์น้ำ

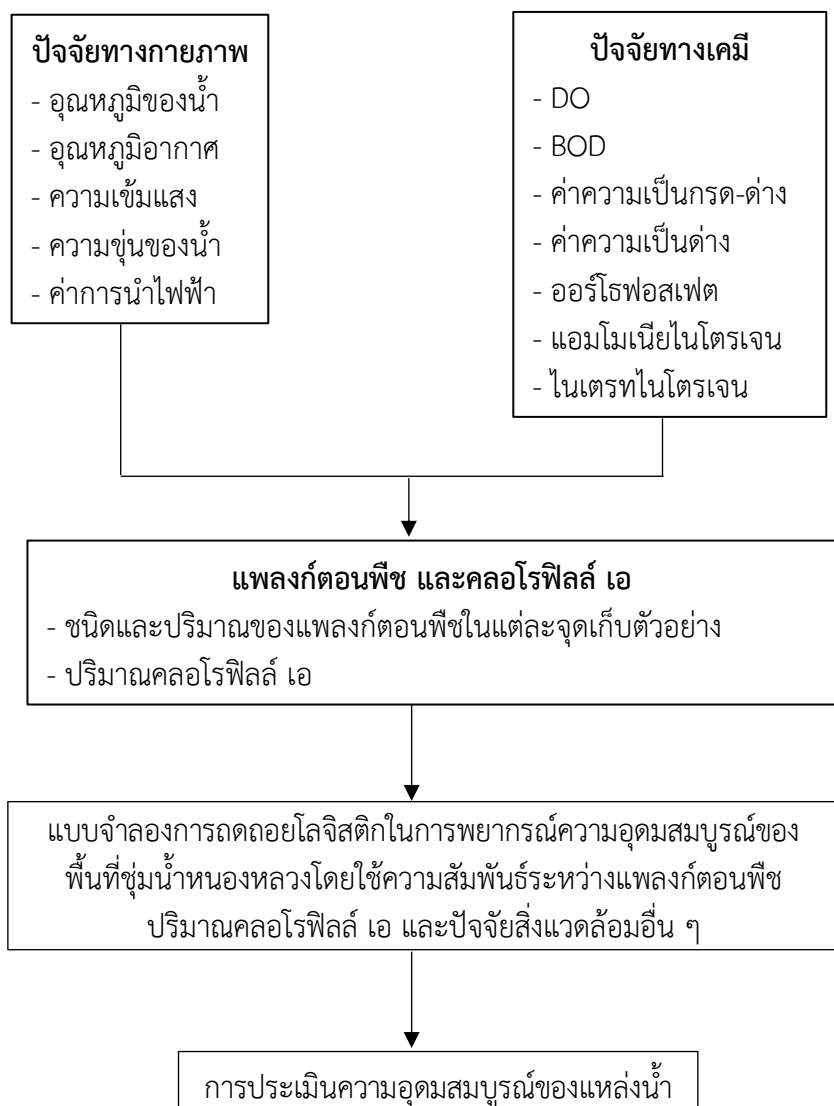
Jia et al (2024) ศึกษาแพลงก์ตอนบลูม (Plankton bloom) โดยใช้ข้อมูล Cyclone GNSS (CYGNSS), ข้อมูลจาก Sentinel-3 OLCI และข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาจาก ECMWF Re-Analysis-5 เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม เพื่อช่วยในการแจ้งเตือนปรากฏการณ์แพลงก์ตอนบลูมล่วงหน้าโดยใช้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) ในพื้นที่ทะเลสาบหงเจ้อ (Hongze Lake) ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ข้อมูล CYGNSS สามารถจำแนกและแจ้งเตือนปรากฏการณ์แพลงก์ตอนบลูมได้อย่างแม่นยำ และสามารถใช้ในการติดตามและบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จำแนกตัวอย่างแหล่งกักตุนพีชีถึงระดับถึงระดับชนิด (Species) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ และประเมินความอุดมสมบูรณ์โดยใช้แหล่งกักตุนพีชี วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในห้องปฏิบัติการ และประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ โดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ ตรวจวัดปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางด้านกายภาพ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางด้านเคมี และประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับแหล่งกักตุนพีชี คลอโรฟิลล์ เอ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในการประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย เนื่องจากหนองหลวงเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ของจังหวัดเชียงรายจัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับชาติ ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ 2 อำเภอ คือ อำเภอเวียงชัย และอำเภอเมืองเชียงราย มีพื้นที่ประมาณ 9,000 ไร่ สภาพพื้นที่จัดเป็นแหล่งน้ำประเภที่มีกรไหลเวียนไม่ต่อเนื่อง โดยมีการไหลของน้ำในทางน้ำเฉพาะฤดูน้ำหลากเท่านั้น (วิทยา มาสะ, 2558) การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำรอบพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย พิจารณาจากความหลากหลายของการใช้ประโยชน์ที่ดินและกิจกรรมมนุษย์ในพื้นที่โดยรอบ เพื่อสะท้อนแหล่งกำเนิดสารอาหารที่แตกต่างกันโดยครอบคลุมพื้นที่ชุ่มชน พื้นที่เกษตร และพื้นที่กึ่งธรรมชาติ เพื่อแสดงความแปรผันเชิงพื้นที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Kuo, 2025) และรองรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ การวิจัยครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำโดยรอบพื้นที่หนองหลวง จำนวน 10 จุด (ภาพที่ 2) ประกอบด้วยบริเวณหมู่บ้านหนองหลวง (จุดที่ 1) บริเวณทุ่งหญ้าธรรมชาติและนาข้าว (จุดที่ 2) บริเวณพื้นที่ลุ่ม สวนมะละกอ และสวนยูคาลิปตัส (จุดที่ 3) บริเวณทุ่งหญ้าธรรมชาติ กล้วย ข้าวโพด และนาข้าว (จุดที่ 4) บริเวณโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำพร้อมระบบกระจายน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หมู่ที่ 20 ตำบลห้วยสัก (จุดที่ 5) บริเวณพื้นที่ลุ่ม และนาข้าว (จุดที่ 6) บริเวณหมู่บ้านสมานมิตร พื้นที่ป่าผลัดใบ สวนยูคาลิปตัส ไร่ข้าวโพด และนาข้าว (จุดที่ 7) บริเวณวัดป่าขันตือดมธรรม และไร่ข้าวโพด (จุดที่ 8) บริเวณไร่มันสำปะหลัง (จุดที่ 9) และบริเวณพื้นที่สาธารณะ (พระพุทธรีย์ไชยปรากฏาร) และไร่มันสำปะหลัง (จุดที่ 10)

กลุ่มตัวอย่าง

ใช้โปรแกรม QGIS ในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่อย่างน้อย 10 จุด ตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ปริญญา มุลสิน, 2555) ในหนองหลวง เช่น แหล่งเพาะพันธุ์ปลา แหล่งเกษตรกรรม พื้นที่เลี้ยงสัตว์ แหล่งท่องเที่ยว ร้านอาหาร และพื้นที่ธรรมชาติที่ไม่มีกิจกรรมจากมนุษย์

การเก็บข้อมูล

1) ศึกษาคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของจุดเก็บตัวอย่าง สังเกตลักษณะของน้ำ ได้แก่ สี กลิ่น และความใส วัดความเข้มแสง (Light intensity) โดยใช้ Lux meter วัดความลึกที่แสงส่องถึง (Secchi's depth) โดยใช้ Secchi's disc วัดอุณหภูมิน้ำ และวัดอุณหภูมิอากาศ (Water and air temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ วัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และวัดค่าการนำกระแสไฟฟ้า (Conductivity) โดยใช้เครื่องมัลติพารามิเตอร์ วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolve oxygen) ตามวิธี Iodometric แบบ azide modification method (Greenberg et al., 2005) และเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในขวดโพลีเอทิลีนที่ระดับความลึก 0.5 เมตร จากผิวน้ำ จำนวน 2 ขวด โดยขวดแรกสำหรับนำไปวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Ethanol method (Nusch, 1980) และขวดที่ 2 วัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำด้วยความเย็น

2) ศึกษาคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีบางประการในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ วัดค่าความขุ่นของน้ำ (Turbidity) โดยใช้ Turbidity meter วัดค่าความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity) โดยวิธี Phenolphthalein methyl orange indicator (Greenberg et al., 2005) วัดปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand: BOD) โดยวิธี Iodometric แบบ Azide modification method (Greenberg et al., 2005) วัดปริมาณสารอาหาร (ไนโตรเจนไนโตรเจนโดยวิธี cadmium reduction ออร์โธฟอสเฟตโดยวิธี Ascorbic acid, แอมโมเนียมไนโตรเจนโดยวิธี Nesslerization โดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีจำเพาะกับ Spectrophotometer ของ Hach Company รุ่น DR 2005 ตามวิธีของ Greenberg et al. (2005)

3) เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช

3.1) กรองตัวอย่างน้ำโดยใช้ตาข่ายกรองแพลงก์ตอนที่มีขนาดช่อง 10 ไมโครเมตร โดยใช้ถึงที่ทราบปริมาตรตักน้ำจากจุดเก็บตัวอย่าง 20 ลิตร แล้วเทลงในตาข่ายกรองแพลงก์ตอนให้น้ำไหลอย่างช้า ๆ โดยกรองให้เหลือประมาณ 100 มิลลิลิตร

3.2) เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชที่กรองได้ลงในขวดเก็บตัวอย่าง แล้วหยด Lugol's solution 0.7 มิลลิลิตร เพื่อเป็นการรักษาสภาพของแพลงก์ตอนพืชที่จะศึกษา

4) การประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์โดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ โดยนำค่าคลอโรฟิลล์ เอ ที่ได้จากการตรวจในห้องปฏิบัติการมาประเมินโดยใช้เกณฑ์ของ OECD (2015) ซึ่งใช้ค่าคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) เป็นตัวชี้วัดปริมาณแพลงก์ตอนพืชและสถานะสารอาหารของแหล่งน้ำ โดยแบ่งระดับความอุดมสมบูรณ์ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

4.1) Ultra-oligotrophic ค่าคลอโรฟิลล์ เอ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารต่ำมาก น้ำใส และมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชน้อย

4.2) Oligotrophic มากกว่า 1.0–2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารต่ำ คุณภาพน้ำดี และมีผลผลิตชีวภาพต่ำ

4.3) Mesotrophic มากกว่า 2.5–8.0 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง มีแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นในระดับเหมาะสม

4.4) Eutrophic มากกว่า 8.0–25 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูง มีการเจริญของแพลงก์ตอนพืชมาก และอาจเริ่มส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ

4.5) Hypertrophic มากกว่า 25 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูงมาก ส่วนใหญ่เกิดปัญหาน้ำเขียวหรือการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายอย่างรุนแรง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) จำแนกชนิดของแพลงก์ตอนพืช และคำนวณปริมาณเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช

นำตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชมาจำแนกถึงระดับชนิด (Species) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบโดยพิจารณาจากรูปร่างและขนาดของเซลล์/โคโลนี/เส้นสาย ลักษณะของคลอโรพลาสต์ ไพรินอยด์ จำนวน และตำแหน่งของแฟลเจลลา โดยใช้หนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542; ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549; 2556; John et al. 2011) จากนั้นถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ZEISS Primo Star จากนั้นส่องดูตัวอย่างที่รักษาสภาพด้วยน้ำยาลูกกลอง ปริมาตร 0.02 ไมโครลิตร มาใส่สไลด์ปิดทับด้วยแผ่นปิดสไลด์แล้วนับทั้งสไลด์ (Whole count) โดยนับตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วคำนวณปริมาณเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (ยุวดี พีรพรพิศาล และชิตชล ผลารักษ์, 2547) ตามสมการที่ 2

$$\text{จำนวนของแพลงก์ตอนพืช (เซลล์/โคโลนี/เส้นสาย ต่อลิตร)} = \frac{a \times b}{c \times d} \quad (2)$$

เมื่อ a แทน จำนวนของแพลงก์ตอนพืชที่ได้จากการนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์

b แทน ปริมาตรน้ำที่ได้จากการกรองที่เทใส่ขวดสีชา หน่วยเป็นมิลลิลิตร

c แทน ปริมาตรน้ำจากการสุ่มใน b หน่วยเป็นมิลลิลิตร

d แทน ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่นำมากรอง หน่วยเป็นลิตร

2) การศึกษาโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและความหลากหลายทางชีวภาพตามฤดูกาล

นำข้อมูลแพลงก์ตอนพืชที่ผ่านการคำนวณความหนาแน่นประชากรในหน่วยเซลล์ต่อลิตรมาวิเคราะห์โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชซึ่งประกอบด้วยจำนวนชนิด ความหนาแน่นประชากรดัชนีความหลากหลาย Shannon-Wiener (H') และค่าความสม่ำเสมอของชนิด (Evenness) ด้วยโปรแกรม PAST (Paleontological Statistics Software Package) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในแต่ละฤดูกาล และประเมินรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา

3) การประเมินสถานะแหล่งน้ำ

นำแพลงก์ตอนพืชที่ได้จากการจัดจำแนกในระดับสกุลที่เป็นสกุลเด่นมาประเมินสถานะแหล่งน้ำตามวิธี Applied Algal Research Laboratory Phytoplankton Score (AARL-PP Score) (Peerapornpisal et al., 2007)

4) การประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์

นำค่าคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากการตรวจในห้องปฏิบัติการมาประเมินโดยใช้เกณฑ์ของ ภัฏญญานัฐ สุนทรประสิทธิ์ และคณะ (2563) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิด และปริมาณของแพลงก์ตอนพืชกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ รวมถึงปัจจัยแวดล้อมและฤดูกาลด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คานอนิคอล (Canonical Correspondence Analysis: CCA) และประมาณค่าคลอโรฟิลล์ เอ ของแพลงก์ตอนพืชโดยประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมและแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพและเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Back et al., 2015; Moëzzi et al., 2020; Costa et al., 2023) เพื่อเป็นแนวทางการอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง และประเมินศักยภาพของพื้นที่ในการรองรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะมีต่อไปในอนาคต เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บทที่ 4

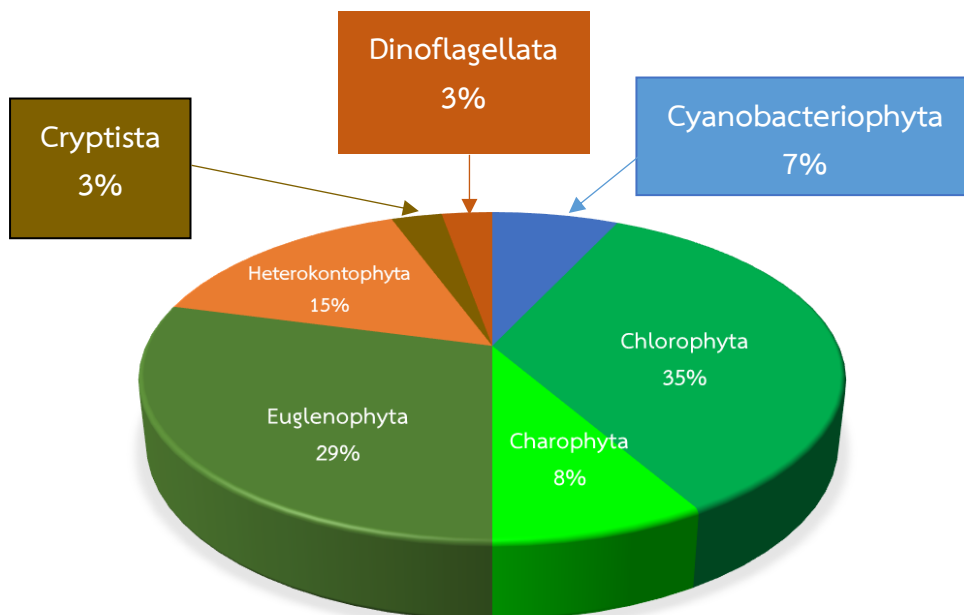
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช

การศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย จากจุดตรวจวัดจำนวน 10 จุด ครอบคลุม 2 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (14 กันยายน พ.ศ. 2568) และฤดูหนาว (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568) โดยจัดจำแนกแพลงก์ตอนพืชตามระบบของ Bold and Wynne (1978) และฐานข้อมูลสาหร่าย AlgaeBase พบผลการศึกษาดังนี้

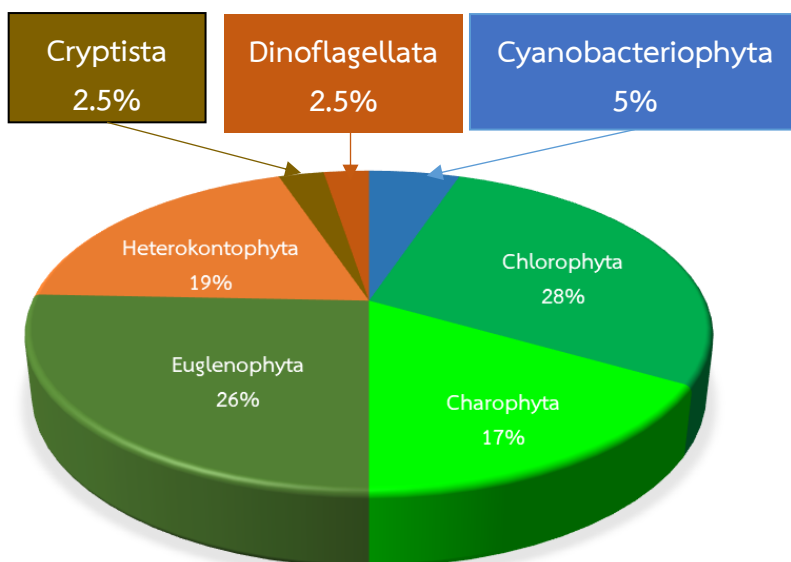
1. ชนิดของแพลงก์ตอนพืช

ผลการศึกษาพบว่า ในฤดูฝนตรวจพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 72 ชนิด แบ่งออกเป็น 7 divisions โดย division ที่พบมากที่สุด คือ Chlorophyta จำนวน 25 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 35 ของชนิดทั้งหมด รองลงมา คือ Euglenophyta จำนวน 21 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 29 และ Heterokontophyta จำนวน 11 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 15 ขณะที่ Charophyta และ Cyanobacteriophyta พบจำนวนเท่ากัน คือ 6 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 8 และ 7 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบแพลงก์ตอนพืชใน division Dinoflagellata และ Cryptista อย่างละ 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 2 ของชนิดทั้งหมด โดยสัดส่วนการกระจายของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละ division แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงในช่วงฤดูฝนอย่างชัดเจน (ภาพที่ 3)



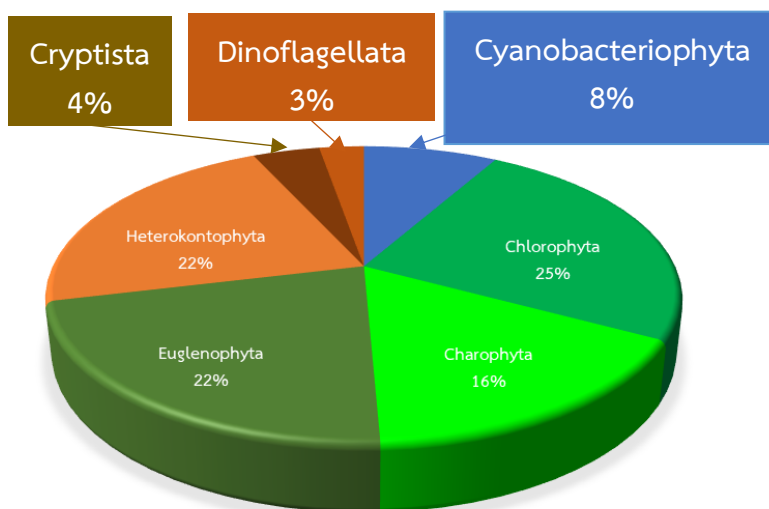
ภาพที่ 3 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย ในแต่ละดิวิชันของฤดูฝน

ในฤดูหนาว พบจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฤดูฝน โดยตรวจพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 78 ชนิด แบ่งออกเป็น 7 ดิวิชัน ซึ่งดิวิชันที่พบมากที่สุด คือ Chlorophyta จำนวน 22 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 28 รองลงมา คือ Euglenophyta จำนวน 20 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 26 และ Heterokontophyta จำนวน 15 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 19 นอกจากนี้ พบแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Charophyta จำนวน 13 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 17 ขณะที่ Cyanobacteriophyta พบ 4 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 5 ส่วน Dinoflagellata และ Cryptista พบเท่ากัน คือ อย่างละ 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 2.5 ของชนิดทั้งหมด โดยการกระจายของชนิดแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาวสะท้อนถึงความหลากหลายของชุมชนแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฤดูฝน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย ในแต่ละดิวิชันของฤดูหนาว

ในฤดูร้อน ตรวจพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 73 ชนิด แบ่งออกเป็น 7 ดิวิชัน โดยดิวิชันที่พบมากที่สุด คือ Chlorophyta จำนวน 18 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 25 รองลงมา คือ Euglenophyta และ Heterokontophyta ซึ่งพบเท่ากันจำนวน 16 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 22 ของชนิดทั้งหมด นอกจากนี้ พบแพลงก์ตอนพืชในดิวิชัน Charophyta จำนวน 12 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 16 ขณะที่ Cyanobacteriophyta พบจำนวน 6 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 8 ส่วน Dinoflagellata และ Cryptista พบในปริมาณค่อนข้างน้อย โดยพบจำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 4) และ 2 ชนิด (ร้อยละ 3) ตามลำดับ การกระจายของชนิดแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อน สะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของชุมชนแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำ โดยมีกลุ่ม Chlorophyta เป็นกลุ่มเด่น และมีกลุ่ม Euglenophyta และ Heterokontophyta ซึ่งสามารถปรับตัวได้ดีต่อสภาพแวดล้อมเป็นองค์ประกอบสำคัญของชุมชน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย ในแต่ละดิวิชั่นของฤดูร้อน

2. ปริมาณของแพลงก์ตอนพืช

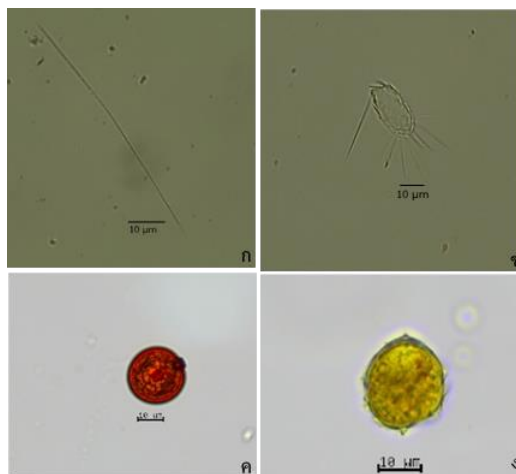
การศึกษาปริมาณแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชมีความแปรผันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดย ฤดูหนาวมีปริมาณรวมสูงสุด รองลงมา คือ ฤดูฝน ส่วนฤดูร้อนมีปริมาณรวมต่ำสุด

ในฤดูฝน พบแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งสิ้น 71,958 เซลล์ต่อลิตร ชนิดเด่นที่มีสัดส่วนความชุกสัมพัทธ์ (% relative abundance) มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ได้แก่ *Trachelomonas volvocinopsis* Svirengo มีความหนาแน่นสูงสุด 16,023 เซลล์ต่อลิตร รองลงมา คือ *Peridinium* sp. จำนวน 7,211 เซลล์ต่อลิตร *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg จำนวน 3,892 เส้นสายต่อลิตร และ *Mallomonas* sp. จำนวน 3,447 เซลล์ต่อลิตร (ภาพที่ 6 และตารางที่ 1) ซึ่งให้เห็นการกระจายตัวของกลุ่มยูกลี นอยด์ ไดโนแฟลเจลเลต และไซยาโนแบคทีเรียในช่วงฤดูที่มีปริมาณน้ำและ สารอาหารเปลี่ยนแปลง

ในฤดูหนาว พบแพลงก์ตอนพืชรวมเพิ่มขึ้นเป็น 75,160 เซลล์ต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกฤดูกาล แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น ได้แก่

Dinobryon divergens O.E. Imhof มีจำนวนสูงสุด 17,563 โคโลนีต่อลิตร รองลงมาคือ *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans จำนวน 10,410 เซลล์ต่อลิตร *Trachelomonas volvocinopsis* Svirenko จำนวน 6,323 เซลล์ต่อลิตร และ *Botryococcus braunii* Kützing จำนวน 6,137 โคโลนีต่อลิตร (ภาพที่ 7 และตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมในฤดูหนาว เช่น อุณหภูมิ น้ำที่ลดลงและความใสของน้ำที่เพิ่มขึ้นอาจเอื้อต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่ม

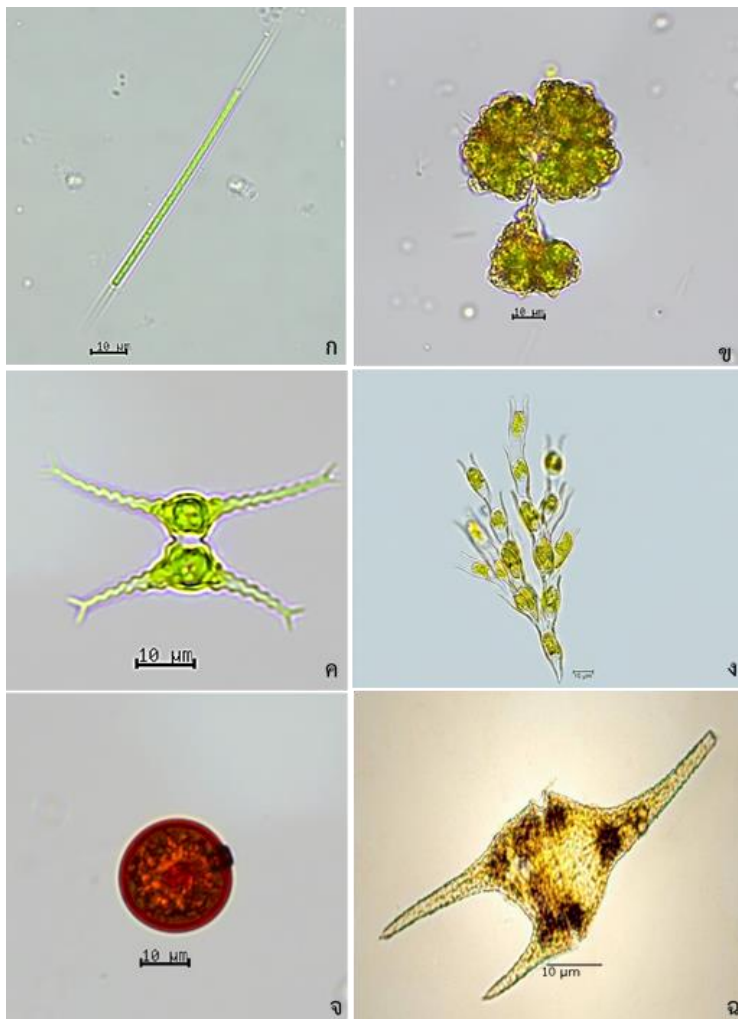
สำหรับฤดูร้อน พบแพลงก์ตอนพืชรวมลดลงเหลือ 68,825 เซลล์ต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของการศึกษา แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น คือ *Dolichospermum planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek มีจำนวนสูงสุด 16,375 เส้นสายต่อลิตร รองลงมา คือ *Trachelomonas volvocinopsis* Svirenko จำนวน 11,600 เซลล์ต่อลิตร (ภาพที่ 8 และตารางที่ 3) สะท้อนแนวโน้มการเพิ่มบทบาทของไซยาโนแบคทีเรียในช่วงที่อุณหภูมิสูงและระดับน้ำลดลง



ภาพที่ 6 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในฤดูฝน

ก *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg ข *Mallomonas* sp.

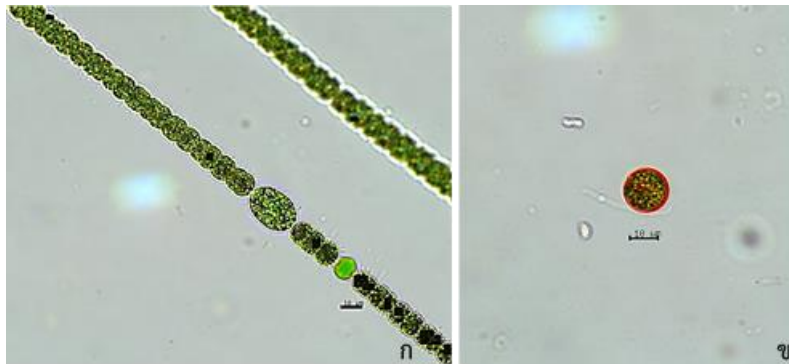
ค *Trachelomonas volvocinopsis* Svirenko ง *Peridinium* sp.



ภาพที่ 7 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงรายในฤดูหนาว

ก *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg ข *Botryococcus braunii* Kützing ค *Staurastrum* sp.

ง *Dinobryon divergens* O.E. Imhof จ *Trachelomonas volvocinopsis* Svirenko ฉ *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans



ภาพที่ 8 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ในฤดูร้อน

ก *Dolichospermum planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek ข *Trachelomonas volvocinopsis* Svirenko

ตารางที่ 1 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (14 กันยายน พ.ศ. 2568)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cyanobacteriophyta (เส้นสายต่อลิตร)											
<i>Arthrospira</i> sp.	0	0	0	0	0	0	75	175	0	0	250
<i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthal) Wacklin	0	0	0	0	0	0	225	0	0	0	225
<i>Phormidium</i> sp.	0	0	90	0	0	570	0	0	0	0	660
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg ***	0	0	0	0	0	0	3150	350	175	217	3892
<i>Pseudanabaena</i> sp.	0	0	90	133	0	0	225	88	350	433	1319
Chlorophyta											
² <i>Ankistrodesmus spiralis</i> Tumer	0	338	0	0	0	855	75	0	0	0	1268
² <i>Botryococcus braunii</i> Kützing	240	113	0	0	0	285	0	0	0	0	638
¹ <i>Chlamydomonas</i> sp.	120	0	0	133	0	0	150	263	0	0	666
¹ <i>Chlorella</i> sp.	0	113	0	0	0	285	0	350	175	217	1139
¹ <i>Closteriopsis longissima</i> (Lemmermann) Lemmermann	120	113	0	0	0	0	225	0	88	0	545
² <i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	0	338	0	133	0	0	300	0	0	433	1204
² <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	120	0	0	0	0	0	0	88	0	0	208
² <i>Crucigenia crucifera</i> (Wolle) Kuntze	0	113	0	0	0	0	0	88	0	217	417
² <i>Crucigeniella truncata</i> (G.M.Smith) Komárek	120	450	0	0	0	0	0	0	175	217	962
² <i>Desmodesmus</i> sp.	0	0	0	0	0	285	225	88	0	0	598
² <i>Dictyosphaerium granulatum</i> Hindák	1200	675	180	0	0	285	75	88	88	217	2807
¹ <i>Elakatothrix viridis</i> (J.Snow) Printz	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	88
² <i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	75
¹ <i>Golenkinia</i> sp.	0	0	90	0	0	0	150	88	0	217	544
² <i>Gonium pectorale</i> O.F.Müller	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	217
² <i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
¹ <i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	0	450	0	0	0	1140	0	0	263	0	1853
¹ <i>Nephrocytium</i> sp.	120	0	0	0	0	0	525	88	0	0	733
¹ <i>Oocystis</i> sp.1	120	113	0	0	0	0	75	263	0	0	570
² <i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory	120	0	0	0	0	0	0	0	88	0	208
² <i>Pediastrum asymmetricum</i> T.Yamagishi & E.Hegewald	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	113
² <i>Pediastrum duplex</i> Meyen	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0	175
² <i>Scenedesmus</i> sp.	0	113	90	0	0	0	0	175	0	0	378
¹ <i>Treubaria setigera</i> (W.Archer) G.M.Smith	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	217
² <i>Volvox</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	88

ตารางที่ 1 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (14 กันยายน พ.ศ. 2568)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Charophyta											
¹ <i>Closterium parvulum</i> Nägeli	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
¹ <i>Cosmarium</i> sp.1	0	0	90	0	0	285	300	0	88	0	763
¹ <i>Staurastrum</i> sp.1	240	113	0	0	0	0	750	350	263	217	1932
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.1	0	113	0	0	0	0	300	0	0	0	413
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	88
³ <i>Teilingia excavata</i> (Ralfs ex Ralfs) Bourrelly	0	0	0	0	0	0	900	0	0	0	900
Euglenophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Euglena agilis</i> H.J.Carter	0	0	0	133	0	0	0	0	0	0	133
<i>Euglena anabaena</i> Mainx	0	0	0	0	420	0	0	0	0	0	420
<i>Euglena caudata</i> E.F.W.Hübner	240	0	0	133	0	285	0	0	88	0	746
<i>Euglena proxima</i> var. <i>anglesia</i> Pringsheim	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120
<i>Euglena</i> sp.	0	0	0	0	280	0	0	0	0	0	280
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian	120	0	0	133	0	285	0	0	0	0	538
<i>Lepocinclis oxyuris</i> (Schmarda) B.Marin & Melkonian	0	0	0	133	0	0	0	0	0	0	133
<i>Lepocinclis playfairiana</i> (Deflandre) Deflandre	0	0	0	0	280	570	0	0	0	0	850
<i>Lepocinclis</i> sp.	120	225	0	133	0	285	0	0	88	217	1068
<i>Phacus helikoides</i> Pochmann	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	113
<i>Phacus longicauda</i> var. <i>tortus</i> Lemmermann	0	0	0	0	0	285	0	0	0	0	285
<i>Phacus orbicularis</i> Hübner	360	0	0	267	0	285	0	0	0	0	912
<i>Phacus</i> sp.	0	0	0	0	0	285	0	0	0	0	285
<i>Strombomonas ensifera</i> (Daday) Deflandre	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0	225
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F.Stein	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	88
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	0	0	0	0	140	570	0	0	0	0	710
<i>Trachelomonas robusta</i> Swirenko emend. Deflandre	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	88
<i>Trachelomonas superba</i> Svirenko	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0	175
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	120	0	0	400	560	1140	75	263	0	0	2558
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko***	1680	2250	90	1333	5600	3990	600	263	0	217	16023
<i>Trachelomonas</i> sp.	0	0	0	0	0	855	75	175	88	0	1193

ตารางที่ 1 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (14 กันยายน พ.ศ. 2568)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Heterokontophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
Acanthoceras zachariasii (Brun) Simonsen	120	338	0	0	0	0	0	0	88	0	545
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen	0	338	180	0	0	285	0	0	0	0	803
Centritractus belonophorus (Schmidle) Lemmermann	120	113	0	133	0	0	150	88	0	217	820
² Dinobryon divergens O.E.Imhof	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	150
Eunotia sp.	0	0	0	133	0	285	0	0	0	0	418
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0	90	0	0	0	150	0	0	0	240
Gomphonema gracile Ehrenberg	0	0	180	267	280	0	75	0	88	0	889
Mallomonas sp.***	1200	1463	90	0	140	0	75	88	175	217	3447
Navicula sp.	0	0	90	133	0	285	150	0	0	0	658
Nitzschia palea (Kützinger) W.Smith	120	0	0	0	0	0	0	0	88	0	208
Pinnularia sp.1	0	0	0	400	0	285	0	0	0	0	685
Dinoflagellata (เซลล์ต่อลิตร)											
Peridiniopsis sp.	0	0	0	0	0	0	150	88	0	0	238
Peridinium sp.***	960	450	270	533	840	1995	1200	175	788	0	7211
Cryptista (เซลล์ต่อลิตร)											
Cryptomonas sp.1	120	0	0	0	0	1425	600	0	0	0	2145
Cryptomonas sp.2	0	0	90	0	0	0	0	88	0	0	178
จำนวนเซลล์ทั้งหมด	8160	8775	1710	4667	8540	17385	11250	4463	3325	3683	71,958

ตารางที่ 2 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาวของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Charophyta											
¹ <i>Cosmarium contractum</i> var. <i>contractum</i> Kirchner	300	200	0	0	0	0	0	0	0	0	500
¹ <i>Cosmarium</i> sp.1	120	0	83	80	0	0	0	240	0	0	523
¹ <i>Cosmarium</i> sp.2	0	0	0	0	0	148	0	0	0	0	148
¹ <i>Cosmoecidium saxonicum</i> De Bary	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50
³ <i>Desmidium swartzii</i> C.Agardh ex Ralfs	0	0	0	0	0	0	60	0	120	0	180
¹ <i>Gonatozygon aculeatum</i> W.N.Hastings	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
³ <i>Hyalotheca dissiliens</i> (Smith) Brebisson	120	150	0	0	0	0	0	0	0	0	270
³ <i>Spondylosium planum</i> (Wolle) West & G.S.West	0	100	0	0	0	0	0	0	120	0	220
¹ <i>Staurastrum longibrachiatum</i> West & G.S.West	0	0	0	0	100	0	0	320	0	0	420
¹ <i>Staurastrum</i> sp.1***	60	50	0	0	0	0	840	1440	960	120	3470
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.1	120	50	83	0	0	0	0	0	120	0	373
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.2	60	0	0	0	0	0	900	640	0	0	1600
³ <i>Teilingia excavata</i> (Ralfs ex Ralfs) Bourrelly	0	0	0	0	0	0	60	320	0	0	380
Euglenophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Euglena agilis</i> H.J.Carter	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
<i>Euglena anabaena</i> Mainx	0	0	0	0	100	0	0	80	0	0	180
<i>Euglena caudata</i> E.F.W.Hübner	0	0	0	80	0	148	0	80	0	0	308
<i>Euglena proxima</i> var. <i>anglesia</i> Pringsheim	0	0	0	0	0	0	0	80	0	60	140
<i>Euglena</i> sp.	0	100	0	80	500	148	60	320	0	0	1208
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
<i>Lepocinclis playfairiana</i> (Deflandre) Deflandre	0	0	0	0	0	222	0	0	0	0	222
<i>Lepocinclis salina</i> F.E.Fritsch	0	0	0	0	0	0	0	160	0	0	160
<i>Lepocinclis</i> sp.	0	100	83	0	50	0	0	160	120	0	513
<i>Phacus acuminatus</i> A.Stokes	0	0	0	0	0	0	0	80	120	0	200
<i>Phacus orbicularis</i> Hübner	0	50	83	0	0	0	0	0	0	0	133
<i>Phacus ranulus</i> Pochmann	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
<i>Phacus</i> sp.	0	50	83	0	50	0	0	0	120	0	303
<i>Strombomonas ensifera</i> (Daday) Deflandre	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F.Stein	60	50	0	0	0	0	0	0	0	60	170
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	120	0	167	0	0	222	0	160	0	0	669
<i>Trachelomonas robusta</i> Swirenko emend. Deflandre	0	0	83	0	50	0	0	80	0	0	213

ตารางที่ 2 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาวของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Trachelomonas superba</i> Svirenko	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	83
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	120	0	0	0	0	74	0	0	0	0	194
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko***	300	200	833	960	500	1110	360	1040	480	540	6323
Heterokontophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Acanthoceras zachariasii</i> (Brun) Simonsen	60	150	0	240	0	0	0	0	0	0	450
<i>Achnanthidium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	540	0	250	0	0	0	0	0	0	180	970
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	60	250	167	80	300	0	0	0	120	60	1037
<i>Centritractus belonophorus</i> (Schmidle) Lemmermann	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50
<i>Cyclotella</i> sp.	0	50	0	0	50	0	0	0	0	0	100
² <i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof***	4740	5100	583	0	0	0	0	2880	3960	300	17563
<i>Eunotia</i> sp.	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	50
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	180	400	250	0	0	148	0	0	0	0	978
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	0	0	83	0	0	148	0	0	120	0	351
<i>Mallomonas</i> sp.	840	250	0	80	0	0	60	400	600	0	2230
<i>Navicula</i> sp.	0	150	250	0	50	74	0	0	0	0	524
<i>Nitzschia palea</i> (Kützinger) W.Smith	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60	120
<i>Pinnularia</i> sp.1	0	100	0	80	0	74	0	0	0	0	254
<i>Surirella</i> sp.	60	200	0	0	0	0	0	0	0	0	260
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	0	0	83	0	0	296	0	0	0	60	439
Dinoflagellata (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans***	60	150	0	0	0	0	3180	4800	2160	60	10410
<i>Peridinium</i> sp.	180	1050	167	0	200	0	240	640	600	120	3197
Cryptista (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Cryptomonas</i> sp.1	60	0	0	0	0	0	0	80	0	0	140
<i>Cryptomonas</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	60
จำนวนเซลล์ทั้งหมด	9540	9950	4250	2160	2850	3330	10920	18480	11400	2280	75,160

หมายเหตุ : *** หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่จัดเป็น Dominant specie, 0 หมายถึง ตรวจไม่พบแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้น

ตัวขึ้น Chlorophyta, Charophyta และ Heterokontophyta 1 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็นเซลล์

2 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็นไดโคโน 3 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็นเส้นสาย

ตารางที่ 3 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (5 มีนาคม พ.ศ. 2569)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cyanobacteriophyta											
³ <i>Dolichospermum planctonicum</i> (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek***	300	0	0	0	0	0	0	8100	7875	100	16375
² <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	0	100	0	200	0	0	0	600	225	0	1125
³ <i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont	100	150	75	0	250	0	0	150	0	0	725
³ <i>Phormidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75
³ <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	150	0	150	400	250	100	1350	150	150	0	2700
³ <i>Pseudanabaena</i> sp.	0	0	75	0	0	0	0	750	225	0	1050
Chlorophyta											
² <i>Ankistrodesmus spiralis</i> Turner	0	0	0	0	0	0	375	150	0	0	525
² <i>Botryococcus braunii</i> Kützing	0	0	75	0	0	0	300	450	375	0	1200
¹ <i>Chlamydomonas</i> sp.	50	0	0	0	0	0	0	450	0	0	500
¹ <i>Chlorella</i> sp.	100	0	0	0	0	0	0	150	0	50	300
² <i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	150	100	0	0	0	0	0	150	0	0	400
² <i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn	100	100	225	0	0	0	150	0	0	0	575
² <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	0	300	0	200	0	0	0	0	0	0	500
² <i>Coelomoron</i> sp.	50	0	0	0	0	0	0	150	0	0	200
² <i>Crucigeniella truncata</i> (G.M.Smith) Komárek	350	100	0	200	0	100	225	0	0	0	975
² <i>Dictyosphaerium granulatum</i> Hindák	0	200	0	0	0	0	150	1350	300	0	2000
² <i>Dimorphococcus lunatus</i> A.Braun	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	150
¹ <i>Golenkinia</i> sp.	50	0	0	0	0	0	0	150	0	0	200
² <i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	0	50	0	0	0	0	75	150	75	0	350
² <i>Nephrocytium</i> sp.	0	50	75	0	0	0	0	0	0	0	125
¹ <i>Oocystis</i> sp.1	50	50	0	0	0	0	0	0	75	0	175
² <i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	75
² <i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	0	0	250	0	0	450	0	50	750
¹ <i>Treubaria setigera</i> (W.Archer) G.M.Smith	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	150
Charophyta											
¹ <i>Closteriopsis longissima</i> (Lemmermann) Lemmermann	0	0	0	200	0	0	75	0	0	0	275
¹ <i>Cosmarium contractum</i> O.Kirchner	50	0	75	0	0	0	600	300	0	0	1025
¹ <i>Cosmarium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	150

ตารางที่ 3 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (5 มีนาคม พ.ศ. 2569)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
¹ <i>Cosmoecium saxonicum</i> De Bary	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
² <i>Desmidium swartzii</i> C.Agardh ex Ralfs	50	0	0	0	0	0	0	750	75	0	875
¹ <i>Netrium</i> sp.	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	75
¹ <i>Pleurotaenium rectum</i> Delponte	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0	250
¹ <i>Staurastrum longibrachiatum</i> West & G.S.West	0	250	0	0	0	0	1275	0	0	50	1575
¹ <i>Staurastrum</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	450	150	0	0	600
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	825	450	0	0	1275
¹ <i>Staurodesmus</i> sp.2	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	75
² <i>Streptonema trilobatum</i> Wallich	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Euglenophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Euglena agilis</i> H.J.Carter	0	0	0	0	750	0	0	0	0	0	750
<i>Euglena anabaena</i> Mainx	0	0	0	0	0	100	0	0	0	50	150
<i>Euglena chlamydophora</i> Mainx	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	300
<i>Euglena limnophila</i> Lemmermann	0	0	0	0	500	0	0	0	0	0	500
<i>Euglena</i> sp.	0	50	75	200	0	0	0	0	0	0	325
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian	0	0	0	400	0	100	0	0	0	0	500
<i>Lepocinclis playfairiana</i> (Deflandre) Deflandre	0	100	0	200	0	800	0	0	0	0	1100
<i>Lepocinclis</i> sp.	0	50	0	0	0	200	0	0	0	0	250
<i>Phacus acuminatus</i> A.Stokes	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	200
<i>Phacus orbicularis</i> Hübner	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
<i>Phacus</i> sp.	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	75
<i>Strombomonas ensifera</i> (Daday) Deflandre	0	0	0	200	0	100	0	0	0	0	300
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F.Stein	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	300
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F.Stein	100	50	150	0	250	200	0	0	0	0	750
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko***	200	50	225	600	2750	6500	150	750	75	300	11600
<i>Trachelomonas similis</i> A.Stokes	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Heterokontophyta (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Achnanthyrium straubianum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	50	0	75	0	0	100	0	300	375	0	900
<i>Amphora</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	150
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	50	0	75	0	500	0	0	0	75	50	750
<i>Centritractus belonophorus</i> (Schmidle) Lemmermann	150	0	0	0	0	100	150	0	0	0	400
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	150

ตารางที่ 3 ปริมาณแพลงก์ตอนพืชในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ชนิด	จุดเก็บตัวอย่าง (5 มีนาคม พ.ศ. 2569)										จำนวนเซลล์ต่อลิตร
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	100	0	75	0	0	0	0	150	0	0	325
² <i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	400	1200	75	200	250	0	0	150	0	0	2275
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	50	0	0	0	0	0	0	150	0	0	200
<i>Eunotia</i> sp.	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	200
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	50	100	75	200	0	0	0	300	225	0	950
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	50	100	75	0	0	0	0	600	0	0	825
<i>Mallomonas</i> sp.1	200	50	0	0	750	300	75	0	0	0	1375
<i>Navicula</i> sp.	0	0	75	0	0	0	0	0	150	100	325
<i>Nitzschia palea</i> (Kützinger) W.Smith	0	50	600	600	0	0	0	450	0	0	1700
<i>Pinnularia</i> sp.1	50	0	75	200	0	0	0	0	0	0	325
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	0	0	0	0	0	0	0	150	75	0	225
Dinoflagellata (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans	50	50	75	0	0	0	0	150	0	0	325
<i>Peridiniopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50
<i>Peridinium</i> sp.	200	0	0	0	500	100	150	300	75	0	1325
Cryptista (เซลล์ต่อลิตร)											
<i>Cryptomonas</i> sp.1	0	0	150	0	0	200	0	300	225	0	875
<i>Cryptomonas</i> sp.2	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	400
จำนวนเซลล์ทั้งหมด	3450	3300	2775	4600	7250	9900	6525	19500	10725	800	68825

หมายเหตุ : *** หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่จัดเป็น Dominant specie, 0 หมายถึง ตรวจไม่พบแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้น

ดิวิชัน Cyanobacteriophyta, Chlorophyta, Charophyta และ Heterokontophyta 1 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็นเซลล์ 2 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็น

โคโลนี 3 หมายถึง แพลงก์ตอนพืชที่มีหน่วยนับเป็นเส้นสาย

โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและความหลากหลายทางชีวภาพตามฤดูกาล

จากการศึกษาความหลากหลายและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ครอบคลุม 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (14 กันยายน พ.ศ. 2568) ฤดูหนาว (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568) และฤดูร้อน (5 มีนาคม พ.ศ. 2569) โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม PAST พบว่าโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชมีความแตกต่างกันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ทั้งในด้านจำนวนชนิด ความหนาแน่นประชากร และรูปแบบการกระจายตัวของชนิด

จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่ตรวจพบตลอดปีมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 72–78 ชนิด โดยฤดูหนาวพบมากที่สุด 78 ชนิด รองลงมา คือ ฤดูร้อน 73 ชนิด และฤดูฝน 72 ชนิด แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงยังคงรักษาความหลากหลายของชนิดได้ดี แม้สภาพแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เมื่อพิจารณาความหนาแน่นประชากรพบว่า ฤดูหนาวมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชรวมสูงสุด เท่ากับ 75,160 เซลล์ต่อลิตร รองลงมา คือ ฤดูฝน 71,958 เซลล์ต่อลิตร และฤดูร้อน 68,825 เซลล์ต่อลิตร สะท้อนว่าสภาพแวดล้อมในฤดูหนาวมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชมากกว่าฤดูกาลอื่น อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินด้วยดัชนีความหลากหลาย Shannon-Wiener (H') พบว่าฤดูฝนมีค่าสูงสุด (3.40) รองลงมา คือ ฤดูร้อน (3.25) และฤดูหนาวมีค่าต่ำสุด (3.04) แสดงให้เห็นว่า แม้ฤดูหนาวจะมีจำนวนชนิดและความหนาแน่นสูง แต่ประชากรมีแนวโน้มกระจุกตัวอยู่ในบางชนิด ขณะที่ฤดูฝนมีการกระจายตัวของชนิดอย่างสมดุลมากกว่า จึงส่งผลให้มีค่าความหลากหลายสูงที่สุด ผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความสม่ำเสมอของชนิด (Evenness) ซึ่งพบว่าสูงสุดในฤดูฝน (0.41) รองลงมา คือ ฤดูร้อน (0.35) และต่ำสุดในฤดูหนาว (0.27) สะท้อนว่าในฤดูฝน จำนวนประชากรของแต่ละชนิดมีความใกล้เคียงกันมากกว่า ขณะที่ฤดูหนาวมีชนิดเด่นบางชนิดครอบงำชุมชนอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าความหลากหลาย ความหนาแน่น และโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ใน 3 ฤดูกาล

พารามิเตอร์	ฤดูฝน (ก.ย.68)	ฤดูหนาว (ธ.ค.68)	ฤดูร้อน (ม.ค.69)
จำนวนชนิด	72	78	73
ปริมาณเซลล์ (เซลล์ต่อลิตร)	71,958	75,160	68,825
ดัชนีความ หลากหลาย	3.40	3.04	3.25
ความสม่ำเสมอ ของชนิด	0.41	0.27	0.35

การประเมินคุณภาพน้ำ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชร่วมกับการประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธี AARL-PP Score (Peerapompisal et al., 2007) พบว่าสถานะของแหล่งน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย มีความแปรผันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยสะท้อนผ่านการเปลี่ยนแปลงของสกุลแพลงก์ตอนพืชเด่นและค่าคะแนนประเมินคุณภาพน้ำ

ในฤดูฝน พบแพลงก์ตอนพืชสกุลเด่นจำนวน 4 สกุล ได้แก่ *Trachelomonas volvocinopsis*, *Peridinium* sp., *Planktolyngbya limnetica* และ *Mallomonas* sp. โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 แสดงว่าสถานะแหล่งน้ำอยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงสูง (meso-eutrophic status) และคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างเสื่อมโทรม (moderate to polluted) สะท้อนถึงการสะสมของธาตุอาหารและการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในช่วงฤดูฝน

ในฤดูหนาว พบแพลงก์ตอนพืชสกุลเด่นเพิ่มเป็น 6 สกุล ได้แก่ *Dinobryon divergens*, *Ceratium furcoides*, *Trachelomonas volvocinopsis*, *Botryococcus braunii*, *Planktolyngbya limnetica* และ *Staurastrum* โดยมีคะแนนเฉลี่ยลดลงเหลือ 4.50 บ่งชี้ว่าสถานะแหล่งน้ำอยู่ในระดับสารอาหารปานกลาง (mesotrophic status) และคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลาง (moderate) ซึ่งถือเป็นช่วงที่คุณภาพน้ำที่ดีที่สุดของการศึกษา

สำหรับฤดูร้อน พบแพลงก์ตอนพืชสกุลเด่นเพียง 2 สกุล ได้แก่ *Dolichospermum planctonicum* และ *Trachelomonas volvocinopsis* โดยมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 8.00 แสดงว่าสถานะแหล่งน้ำอยู่ในระดับสารอาหารสูง (eutrophic status) และคุณภาพน้ำอยู่ในระดับเสื่อมโทรม (polluted) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มจำนวนของไซยาโนแบคทีเรียที่มักเจริญได้ดีในสภาวะอุณหภูมิสูง

โดยสรุป การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธี AARL-PP Score แสดงให้เห็นพลวัตของระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงได้อย่างชัดเจน โดยฤดูหนาวมีคุณภาพน้ำที่ดีที่สุด รองลงมา คือ ฤดูฝน ขณะที่ฤดูร้อนมีแนวโน้มเสื่อมโทรมมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและปริมาณสารอาหารที่ส่งผลต่อโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและสถานะของแหล่งน้ำในแต่ละฤดูกาล ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การประเมินคุณภาพน้ำตามวิธี AARL-PP Score

แพลงก์ตอนพืชสกุลเด่น	คะแนนของ แพลงก์ตอนพืช แต่ละสกุล	คุณภาพน้ำตาม สถานะสารอาหาร	คุณภาพน้ำทั่วไป
ฤดูฝน			
<i>Trachelomonas</i>	8		
<i>Peridinium</i>	6	สารอาหารปาน	ปานกลางถึงไม่ดี
<i>Planktolyngbya</i>	7	กลางถึงสูง	(Moderate-
<i>Mallomonas</i>	ไม่มีคะแนน	(Meso-eutrophic	polluted)
คะแนนเฉลี่ย	7.0	status)	
ฤดูแล้ง			
<i>Dinobryon</i>	1		
<i>Botryococcus</i>	4	สารอาหารปาน	ปานกลาง
<i>Ceratium</i>	4	กลาง	(Moderate)
<i>Trachelomonas</i>	8	(Mesotrophic	
<i>Planktolyngbya</i>	7	status)	
<i>Staurastrum</i>	3		
คะแนนเฉลี่ย	4.50		
ฤดูร้อน			
<i>Dolichospermum</i>	8	สารอาหารสูง	ไม่ดี
<i>Trachelomonas</i>	8	(Eutrophic	(Polluted)
คะแนนเฉลี่ย	8.00	status)	

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของชีวมวลแพลงก์ตอนพืชอย่างชัดเจน ทั้งในเชิงฤดูกาล และเชิงพื้นที่ (ตารางที่ 6) ซึ่งสามารถใช้สะท้อนระดับความอุดมสมบูรณ์และสถานะสารอาหารของ แหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี

ในฤดูฝน พบค่าคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ยเท่ากับ $2.27 \pm 1.92 \mu\text{g/L}$ โดยมีค่าค่อนข้างแปรผัน ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง แสดงถึงการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชที่ไม่สม่ำเสมอ พบค่าสูงเด่นบริเวณ จุดที่ 5-7 โดยเฉพาะจุดที่ 6 มีค่าสูงสุด $5.06 \mu\text{g/L}$ สะท้อนว่าบริเวณดังกล่าวอาจมีการสะสมของธาตุ อาหารหรือมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชมากกว่าพื้นที่อื่น เมื่อนำ ค่าเฉลี่ยไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ OECD จัดอยู่ในระดับ Oligotrophic ถึง Mesotrophic แสดงถึง แหล่งน้ำที่มีสารอาหารต่ำถึงปานกลาง และยังคงมีคุณภาพน้ำค่อนข้างดี

ในฤดูหนาว ค่าคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น $2.39 \pm 1.40 \mu\text{g/L}$ ขณะที่ค่าความแปรปรวนลดลงเมื่อเทียบกับฤดูฝน แสดงถึงการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยยังคงพบค่าค่อนข้างสูงบริเวณจุดที่ 6 และ 7 เท่ากับ 4.05 และ $4.71 \mu\text{g/L}$ ตามลำดับ บ่งชี้ว่าพื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีศักยภาพในการรองรับการเจริญของแพลงก์ตอนพืชอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ OECD ยังคงอยู่ในระดับ Oligotrophic ถึง Mesotrophic เช่นเดียวกับฤดูฝน สะท้อนว่าสภาพน้ำในฤดูหนาวมีความเสถียรและสมดุลมากขึ้น

ในฤดูร้อน พบค่าคลอโรฟิลล์-เอเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $6.05 \pm 5.92 \mu\text{g/L}$ และมีความแปรปรวนสูงที่สุด แสดงถึงการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างพื้นที่ โดยพบค่าคลอโรฟิลล์-เอสูงมากที่จุดที่ 8 และ 9 เท่ากับ 16.05 และ $17.97 \mu\text{g/L}$ ตามลำดับ สะท้อนการเพิ่มขึ้นของชีวมวลแพลงก์ตอนพืชเฉพาะบริเวณ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับระดับน้ำที่ลดลง อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำค่อนข้างนิ่ง และการสะสมของธาตุอาหารในช่วงฤดูร้อน ค่าเฉลี่ยดังกล่าวจัดอยู่ในระดับ Mesotrophic และบางจุดมีแนวโน้มเข้าสู่ระดับ Eutrophic ซึ่งบ่งชี้ถึงภาวะความอุดมสมบูรณ์สูงของแหล่งน้ำ

โดยสรุป ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยฤดูฝนและฤดูหนาวมีระดับสารอาหารต่ำถึงปานกลาง และคุณภาพน้ำค่อนข้างดี ขณะที่ฤดูร้อนมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะบางจุดตรวจวัดที่มีค่าคลอโรฟิลล์-เอสูงผิดปกติ สะท้อนแนวโน้มการเกิดภาวะยูโทรฟิเคชันเฉพาะพื้นที่ ซึ่งควรมีการติดตามเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง เพื่อการจัดการระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำอย่างเหมาะสมในระยะยาว

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

ฤดูกาล	จุดเก็บตัวอย่าง										ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/L}$)
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	จุดที่ 10	
ฤดูฝน	1.39	0.08	2.11	1.40	4.92	5.06	4.83	1.18	0.51	1.18	2.27 ± 1.92
ฤดูหนาว	1.48	1.60	0.33	1.41	3.15	4.05	4.71	2.28	3.53	1.37	2.39 ± 1.40
ฤดูร้อน	2.45	1.38	3.38	3.33	4.26	5.07	4.85	16.05	17.97	1.74	6.05 ± 5.92

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย จากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามและผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากจุดตรวจวัดจำนวน 10 จุดต่อฤดูกาลครอบคลุมทั้งหมด 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (14 กันยายน พ.ศ. 2568) ฤดูหนาว (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568) และฤดูร้อน (5 มีนาคม พ.ศ. 2569) (ตารางที่ 7 ถึง ตารางที่ 10) และการประเมินความสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินแสดงได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพพบว่า ความลึกของน้ำมีความแปรผันในระดับสูงในทุกฤดูกาล โดยในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 ± 0.88 (0.39–3.30) เมตร ขณะที่ฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 1.23 ± 0.93 (0.32–2.80) เมตร และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 ± 1.23 (0.33–4.37)

เมตร ซึ่งมีช่วงค่ากว้างที่สุดของทั้งสามฤดูกาล เมื่อพิจารณาความลึกที่แสงสามารถส่องถึง (Secchi dept) พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามลำดับฤดูกาล โดยฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ± 0.31 (0.39–1.40) เมตร ขณะที่ฤดูหนาวลดลงเป็น 0.57 ± 0.46 (0.20–1.80) เมตร และลดลงต่อเนื่องในฤดูร้อนเป็น 0.45 ± 0.32 (0.01–1.20) เมตร สำหรับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิน้ำพบว่า มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันในแต่ละฤดูกาล โดยฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 27.15 ± 1.76 (25.00–31.00) °C และอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 30.34 ± 1.02 (29.10–32.40) °C จากนั้น ค่าทั้งสองลดลงในฤดูหนาวเป็น 26.65 ± 2.38 (23.00–29.50) °C และ 25.55 ± 0.95 (24.20–26.90) °C ตามลำดับ ก่อนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในฤดูร้อน โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 26.80 ± 2.74 (22–31) °C และอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 27.13 ± 1.66 (24.4–29.2) °C

เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสารแขวนลอยและของแข็งละลายน้ำพบว่า ความขุ่นของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.56 ± 9.31 (2.86–28.70) NTU ในฤดูฝน และเพิ่มขึ้นเป็น 17.59 ± 10.71 (4.10–38.10) NTU ในฤดูหนาว ขณะที่ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.2 ± 3.02 (15.72–17.11) NTU ในขณะเดียวกัน ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids; TDS) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) แสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120.14 ± 23.28 (80.11–159.50) mg/L และ 132.28 ± 26.45 (89.63–180.10) $\mu\text{S}/\text{cm}$ ตามลำดับ ก่อนจะลดลงในฤดูหนาวเป็น 84.72 ± 16.52 (49.97–108.90) mg/L และ 89.09 ± 21.28 (47.30–124.10) $\mu\text{S}/\text{cm}$ และมีค่าเฉลี่ยในฤดูร้อนเท่ากับ 56.52 ± 147.5 (25.93–92.88) mg/L และ 111.06 ± 27.78 (72.4–169.8) $\mu\text{S}/\text{cm}$ นอกจากนี้ ความเค็มของน้ำในทั้งสามฤดูกาลพบว่าอยู่ในระดับต่ำ โดยฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12181 ± 0.02465 (0.08135–0.16880) ppt ขณะที่ฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0747 ± 0.0268 (0.0109–0.1091) ppt และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.09323 ± 0.02420 (0.05651–0.14310) ppt

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้านเคมี

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำในแต่ละฤดูกาลอย่างต่อเนื่อง โดยค่าความเป็นด่างซึ่งพบว่าในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.10 ± 7.31 (20.00–46.00) mg/L as CaCO_3 และเพิ่มขึ้นเป็น 39.50 ± 8.06 (29.00–58.00) mg/L as CaCO_3 ในฤดูหนาว ก่อนจะลดลงอย่างชัดเจนในฤดูร้อนเหลือ 4.50 ± 1.37 (2.8–7.9) mg/L as CaCO_3 สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 7.59 ± 0.42 (7.01–8.34) ในฤดูฝน เพิ่มขึ้นเป็น 8.89 ± 0.60 (7.66–9.58) ในฤดูหนาว และลดลงเป็น 6.67 ± 0.12 (6.45–6.85) ในฤดูร้อน ในขณะที่สภาวะออกซิเจนในน้ำแสดงรูปแบบที่แตกต่างออกไป โดยค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.02 ± 2.02 (1.00–8.20) mg/L ก่อนจะเพิ่มขึ้นเป็น 5.30 ± 2.60 (0.60–8.40) mg/L ในฤดูหนาว และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 ± 2.22 (1.4–7.6) mg/L ในฤดูร้อน ขณะที่ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical oxygen demand; BOD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 ± 2.44 (0.40–7.20) mg/L ในฤดูฝน โดยพบค่าไม่ตรวจพบ (Not detected; ND) ในบางจุดตรวจวัด ขณะที่ฤดูหนาวและฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.18 ± 1.84 (0.10–5.40) mg/L และ 2.28 ± 2.57 (0.2–6.6) mg/L ตามลำดับ

สำหรับปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำพบว่า ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^- -N) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.69 ± 0.56 (1.00–3.00) $\text{mg/L} \cdot \text{NO}_3^-$ -N ในฤดูฝน และลดลงเป็น 1.32 ± 0.48 (0.70–2.40) $\text{mg/L} \cdot \text{NO}_3^-$ -N ในฤดูหนาว ก่อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในฤดูร้อนเป็น 1.63 ± 0.42 (1.1–2.4) $\text{mg/L} \cdot \text{NO}_3^-$ -N ในทำนองเดียวกัน แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3 -N) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.76 ± 0.17 (0.49–1.04) $\text{mg/L} \cdot \text{NH}_3$ -N ในฤดูฝน และมีค่าใกล้เคียงกันในฤดูหนาวและฤดูร้อนที่ 0.61 ± 0.05 (0.49–0.67) $\text{mg/L} \cdot \text{NH}_3$ -N และ 0.60 ± 0.09 (0.49–0.76) $\text{mg/L} \cdot \text{NH}_3$ -N ตามลำดับ ขณะที่ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (soluble reactive phosphorus; SRP) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ± 0.20 (0.16–0.72) $\text{mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูฝน เพิ่มขึ้นเป็น 0.93 ± 0.36 (0.60–1.80) $\text{mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูหนาว และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 ± 0.18 (0.14–0.31) $\text{mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูร้อน

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูแล้งของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง (14 กันยายน พ.ศ. 2568)										ค่าเฉลี่ย±SD (ต่ำสุด-สูงสุด)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ความเข้มแสง (Lux)	68,000	18,300	24,000	12,400	26,500	13,290	73,400	40,700	3,000	830	28,042±25,293.23 (830–73,400)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	26	27	26	27	28	31	27	29	26	25	27.15±1.76 (25.0–31.0)
อุณหภูมิน้ำ (°C)	29.3	30.7	29.3	29.1	31.1	30.3	32.4	31	29.9	30.3	30.34±1.02 (29.1–32.4)
ความลึก (m)	0.6	0.91	0.6	0.39	1.9	1.6	0.96	1.28	0.63	3.3	1.22±0.88 (0.39–3.30)
ความลึกที่แสงส่องถึง (m)	0.6	0.91	0.6	0.39	0.49	0.6	0.7	1.1	0.6	1.4	0.74±0.31 (0.39–1.40)
ความขุ่น (NTU)	14.3	28.4	2.86	15.9	28.7	8.86	7.19	5.81	8.42	5.12	12.56±9.31 (2.86–28.70)
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	159.5	143.9	135.4	125.3	114.7	122.2	119.3	93.67	80.11	107.3	120.14±23.28 (80.11–159.50)
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	180.1	154.4	144	144.4	121.6	132.9	138.8	100.4	89.63	116.6	132.28±26.45 (89.63–180.10)
กรด-ด่าง	7.01	7.29	7.43	7.63	7.99	7.86	8.34	7.9	7.15	7.32	7.59±0.42 (7.01–8.34)
ความเค็ม (ppt)	0.16880	0.14340	0.13630	0.13320	0.11590	0.11860	0.11400	0.09979	0.08135	0.10680	0.12181±0.02465 (0.08135–0.16880)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	1.00	3.20	2.00	2.80	8.20	1.60	3.80	3.20	1.60	2.80	3.02±2.02 (1.00–8.20)
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	31	29	46	34	25	31	20	24	23	28	29.10±7.31 (20.00–46.00)
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	ND	2.2	1	1.6	7.2	0.4	2.2	ND	ND	ND	2.43±2.44 (0.40–7.20)
ไนเตรดไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ ⁻ -N)	1.20	1.70	1.50	2.00	3.00	1.80	1.30	1.90	1.00	1.50	1.69±0.56 (1.00–3.00)
แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	1.04	0.70	0.66	0.99	0.92	0.76	0.75	0.61	0.49	0.68	0.76±0.17 (0.49–1.04)
ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (mg/L·PO ₄ ³⁻)	0.31	0.19	0.66	0.72	0.37	0.16	0.42	0.26	0.20	0.58	0.39±0.20 (0.16–0.72)

หมายเหตุ: ND = ไม่ตรวจพบ (Not detected) และไม่ถูกนำมาคำนวณทางสถิติ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูหนาวของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง (7 ธันวาคม พ.ศ. 2568)										ค่าเฉลี่ย±SD (ต่ำสุด-สูงสุด)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ความเข้มแสง (Lux)	2,560	1,780	2,860	2,710	3,400	4,250	2,980	3,570	3,620	3480	3,121.00±691.37 (1,780–4,250)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	23	25	29	23	26	27	27	29	28	29.5	26.65±2.38 (23.00–29.50)
อุณหภูมิน้ำ (°C)	24.4	25.1	24.2	24.4	26.1	26.9	26.2	26	25.9	26.3	25.55±0.95 (24.20–26.90)
ความลึก (m)	0.32	0.33	0.33	1.4	2.5	0.42	1.8	1.6	0.8	2.8	1.23±0.93 (0.32–2.80)
ความลึกที่แสงส่องถึง (m)	0.32	0.33	0.2	0.6	0.45	0.24	0.6	0.6	0.6	1.8	0.57±0.46 (0.20–1.80)
ความขุ่น (NTU)	5.65	10.1	38.1	25.5	24.7	16.9	10	15.8	25.1	4.1	17.59±10.71 (4.10–38.10)
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	101.4	79.84	108.9	85.21	87.61	98.21	49.97	85.12	74.79	76.12	84.72±16.52 (49.97–108.90)
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	124.1	92.8	110.1	96.9	92.7	89	47.3	85.4	65.5	87.1	89.09±21.28 (47.30–124.10)
กรด-ด่าง	9.44	8.46	8.39	7.66	9.24	8.9	9.18	8.62	9.58	9.4	8.89±0.60 (7.66–9.58)
ความเค็ม (ppt)	0.10910	0.08002	0.01090	0.08415	0.08768	0.09253	0.05257	0.08385	0.07536	0.07099	0.0747±0.0268 (0.0109–0.1091)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	8.40	5.20	0.60	1.80	3.60	5.20	6.80	6.60	6.60	8.20	5.30±2.60 (0.60–8.40)
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	38	40	58	42	42	44	29	35	35	32	39.50±8.06 (29.00–58.00)
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	0.4	0.4	0.1	1	1.3	3.8	5.4	2	3.6	3.8	2.18±1.84 (0.10–5.40)
ไนเตรดไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ -N)	1.00	0.90	1.50	0.70	1.40	1.60	1.10	1.50	2.40	1.10	1.32±0.48 (0.70–2.40)
แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	0.60	0.66	0.63	0.49	0.56	0.63	0.63	0.65	0.67	0.61	0.61±0.05 (0.49–0.67)
ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (mg/L·PO ₄ ³⁻)	0.80	0.80	0.90	0.60	0.70	1.30	0.80	0.80	1.80	0.80	0.93±0.36 (0.60–1.80)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในฤดูร้อนของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง (5 มีนาคม พ.ศ. 2569)										ค่าเฉลี่ย±SD (ต่ำสุด-สูงสุด)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ความเข้มแสง (Lux)	7,000	14,600	14,500	17,200	16,200	24,400	21,700	17,300	23,200	19,900	17,600±5,086.80 (7,000-24,400)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	22	27	23	26	27	27	27	28	30	31	26.80±2.74 (22-31)
อุณหภูมิน้ำ (°C)	24.9	26.5	26.1	24.4	28.9	27.5	29.2	28.9	27.2	27.7	27.13±1.66 (24.4-29.2)
ความลึก (m)	0.83	0.33	0.4	1.9	0.33	0.92	1.33	1.4	0.38	4.37	1.22±1.23 (0.33-4.37)
ความลึกที่แสงส่องถึง (m)	0.6	0.26	0.22	0.1	0.33	0.39	0.61	0.6	0.21	1.2	0.45±0.32 (.01-1.2)
ความขุ่น (NTU)	6.72	6.95	7.9	56.2	25.9	10.5	10.7	21.2	22	3.02	17.11±15.72 (3.02-56.2)
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	88.36	82.8	147.5	126.6	85.74	93.8	56.52	81.37	90.52	75.6	17.11±15.72 (3.02-56.2)
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	119	106.8	169.8	138.7	120.5	105	72.4	92.98	96.61	88.81	111.06±27.78 (72.4-169.8)
กรด-ด่าง	6.62	6.71	6.8	6.58	6.67	6.45	6.85	6.7	6.74	6.59	6.67±0.12 (6.45-6.85)
ความเค็ม (ppt)	0.08798	0.08270	0.14310	0.1246	0.08732	0.09618	0.05651	0.08530	0.08924	0.07937	0.09323±0.02420 (0.05651-0.14310)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	5	5.4	1.4	1.4	6.2	2.6	6.2	7.6	6.6	5.8	4.82±2.22 (1.4-7.6)
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	3.9	4.6	7.9	5.4	4	4.3	2.8	4.4	3.8	3.9	4.50±1.37 (2.8-7.9)
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	1	0.6	>1.4	>1.4	0.2	0.4	0.2	6.6	4.8	4.4	2.28±2.57 (0.2-6.6)
ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ -N)	1.1	1.3	1.3	2.4	2.0	1.6	1.2	1.6	2.0	1.8	1.63±0.42 (1.1-2.4)
แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	0.53	0.62	0.51	0.67	0.58	0.65	0.49	0.76	0.67	0.50	0.60±0.09 (0.49-0.76)
ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (mg/L·PO ₄ ³⁻)	0.46	0.20	0.25	0.22	0.18	0.19	0.23	0.36	0.59	0.39	0.59±0.18 (0.14-0.31)

หมายเหตุ: “>” หมายถึงค่าที่สูงกว่าขีดจำกัดของช่วงการตรวจวัด และถูกแทนด้วยค่าขีดจำกัดต่ำสุดของช่วงดังกล่าวในการคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและช่วงค่าที่วัดได้ของคุณภาพน้ำพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย ทั้ง 3 ฤดูกาล

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย±SD (ต่ำสุด-สูงสุด)		
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูร้อน
ความเข้มแสง (Lux)	28,042±25,293.23 (830-73,400)	3,121.00±691.37 (1,780-4,250)	17,600±5,086.80 (7,000-24,400)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	27.15±1.76 (25.0-31.0)	26.65±2.38 (23.00-29.50)	26.80±2.74 (22-31)
อุณหภูมิน้ำ (°C)	30.34±1.02 (29.1-32.4)	25.55±0.95 (24.20-26.90)	27.13±1.66 (24.4-29.2)
ความลึก (m)	1.22±0.88 (0.39-3.30)	1.23±0.93 (0.32-2.80)	1.22±1.23 (0.33-4.37)
ความลึกที่แสงส่องถึง (m)	0.74±0.31 (0.39-1.40)	0.57±0.46 (0.20-1.80)	0.45±0.32 (.01-1.2)
ความขุ่น (NTU)	12.56±9.31 (2.86-28.70)	17.59±10.71 (4.10-38.10)	17.11±15.72 (3.02-56.2)
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	120.14±23.28 (80.11-159.50)	84.72±16.52 (49.97-108.90)	92.88±25.93 (56.52-147.5)
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	132.28±26.45 (89.63-180.10)	89.09±21.28 (47.30-124.10)	111.06±27.78 (72.4-169.8)
กรด-ด่าง	7.59±0.42 (7.01-8.34)	8.89±0.60 (7.66-9.58)	6.67±0.12 (6.45-6.85)
ความเค็ม (ppt)	0.12181±0.02465 (0.08135-0.16880)	0.0747±0.0268 (0.0109-0.1091)	0.09323±0.02420 (0.05651-0.14310)
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	3.02±2.02 (1.00-8.20)	5.30±2.60 (0.60-8.40)	4.82±2.22 (1.4-7.6)
ความเป็นด่าง (mg/L as CaCO ₃)	29.10±7.31 (20.00-46.00)	39.50±8.06 (29.00-58.00)	4.50±1.37 (2.8-7.9)
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	2.43±2.44 (0.40-7.20)	2.18±1.84 (0.10-5.40)	2.28±2.57 (0.2-6.6)
ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ ⁻ -N)	1.69±0.56 (1.00-3.00)	1.32±0.48 (0.70-2.40)	1.63±0.42 (1.1-2.4)
แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	0.76±0.17 (0.49-1.04)	0.61±0.05 (0.49-0.67)	0.60±0.09 (0.49-0.76)
ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (mg/L·PO ₄ ³⁻)	0.39±0.20 (0.16-0.72)	0.93±0.36 (0.60-1.80)	0.59±0.18 (0.14-0.31)

3. การประเมินความสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ผลจากการประเมินความสอดคล้องของคุณภาพน้ำผิวดินของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง เมื่อพิจารณาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจำแนกตามฤดูกาลพบว่า ค่าพารามิเตอร์ด้านกายภาพและเคมีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละช่วงฤดูกาล โดยเฉพาะค่าที่เกี่ยวข้องกับสภาพออกซิเจนในน้ำและภาระสารอินทรีย์ ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน้ำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 11)

ในฤดูฝน ค่า pH อยู่ในช่วง 7.01–8.34 ซึ่งอยู่ภายในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมดทุกจุดเก็บตัวอย่าง แสดงถึงสภาพ pH ที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตน้ำ อย่างไรก็ตาม ค่า DO มีความแปรปรวนสูง โดยพบว่ามีเพียง 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ขณะที่จำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นเป็น 7 จุดในประเภทที่ 3 และครบทั้งหมดในประเภทที่ 4 สะท้อนให้เห็นว่าคุณภาพน้ำในฤดูฝนมีแนวโน้มอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างเสื่อมในหลายจุดเก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณาค่า BOD พบว่ามีเพียง 2 จุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 และเพิ่มขึ้นเป็น 5 จุดในประเภทที่ 3 และ 4 ในขณะที่ยังคงพบ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในเกณฑ์ประเภทที่ 5 ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีภาระสารอินทรีย์ในระดับสูงในบางจุดเก็บตัวอย่าง สำหรับค่า NO_3^- -N อยู่ในช่วง 1.00–3.00 mg/L- NO_3^- -N ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานในทุกจุดเก็บตัวอย่าง ในขณะที่ค่า NH_3 -N มีเพียง 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ โดยอีก 9 จุดเก็บตัวอย่างเกินค่ามาตรฐาน แสดงถึงความเสี่ยงต่อผลกระทบเชิงพิษต่อสิ่งมีชีวิตน้ำในฤดูกาลนี้

ในฤดูหนาว ค่า pH อยู่ในช่วง 7.66–9.58 โดยมีเพียงครึ่งหนึ่งของจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่อีกครึ่งหนึ่งมีค่าเกินช่วงที่กำหนด แสดงถึงแนวโน้มของสภาพน้ำที่เป็นด่างมากขึ้น ขณะที่ค่า DO มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเทียบกับฤดูฝน โดยมีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้นเป็น 5 จุด และเพิ่มเป็น 8 จุดในประเภทที่ 3 อย่างไรก็ตาม ยังคงพบ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในระดับต่ำมาก (ประเภทที่ 5) สำหรับค่า BOD พบว่าจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 และ 2 เพิ่มขึ้น และไม่มีจุดใดอยู่ในประเภทที่ 5 แสดงถึงภาระสารอินทรีย์ที่ลดลงในฤดูกาลนี้ สำหรับค่า NO_3^- -N ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกจุดเก็บตัวอย่าง ขณะที่ค่า NH_3 -N ยังคงมีเพียง 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ เช่นเดียวกับฤดูฝน

ในฤดูร้อน ค่า pH อยู่ในช่วง 6.45–6.85 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่น ค่า DO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 จำนวน 4 จุด และเพิ่มเป็น 8 จุดในประเภทที่ 3 โดยไม่พบจุดที่อยู่ในประเภทที่ 5 แสดงถึงสภาพออกซิเจนที่เหมาะสมมากขึ้นเมื่อเทียบกับฤดูฝน สำหรับค่า BOD พบว่าจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ประเภทที่ 1 และ 2 เท่ากันที่ 6 จุด และมีเพียง 2 จุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในประเภทที่ 5 ซึ่งแสดงถึงการลดลงของภาระสารอินทรีย์โดยรวม สำหรับค่า NO_3^- -N ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกจุด ขณะที่ค่า NH_3 -N มีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นเป็น 3 จุด แม้ว่าจะยังมีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์อยู่ในระดับสูง

เมื่อพิจารณาทั้งสามฤดูกาลร่วมกันพบว่า ค่า pH และค่า NO_3^- -N อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในเกือบทุกกรณี ขณะที่ค่า DO และ BOD มีความแปรปรวนตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มคุณภาพน้ำดีขึ้นในฤดูหนาวและฤดูร้อนเมื่อเทียบกับฤดูฝน ในทางตรงกันข้าม ค่า NH_3 -N นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีการเกินเกณฑ์ในสัดส่วนสูงในทุกฤดูกาล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาจมีการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจนในแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่องในทุกฤดูกาล สะท้อนถึงกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบน้ำที่ยังคงเกิดขึ้น และอาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบไนโตรเจนในระบบนิเวศน้ำ

ตารางที่ 11 การประเมินความสอดคล้องของคุณภาพน้ำผิวดินของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัด เชียงราย ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจำแนกตามฤดูกาล (อ้างอิงเกณฑ์กรม ควบคุมมลพิษ, 2560)

ฤดูกาล	พารามิเตอร์	เกณฑ์มาตรฐาน	n	ผ่าน เกณฑ์ (จำนวน จุด)	ไม่ผ่าน เกณฑ์ (จำนวน จุด)	ช่วงค่าที่วัด ได้
ฤดูฝน	ความเป็นกรด-ด่าง	5-9	10	10	0	7.01-8.34
	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	ประเภท 1 (≥ 6)	10	1	9	1.00-8.20
		ประเภท 2 (≥ 4)	10	1	9	
		ประเภท 3 (≥ 2)	10	7	3	
		ประเภท 4 (≥ 1)	10	10	0	
		ประเภท 5 (< 1)	10	0	10	
	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	ประเภท 1 (≤ 1.5)	6	2	4	0.40-7.20
		ประเภท 2 (≤ 2)	6	3	3	
		ประเภท 3 (≤ 4)	6	5	1	
		ประเภท 4 (≤ 6)	6	5	1	
		ประเภท 5 (> 6)	6	1	5	
	ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ ⁻ -N)	≤ 5.0 mg/L	10	10	0	1.00-3.00
	แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	≤ 0.5 mg/L	10	1	9	0.49-1.04
ฤดูแล้ง	ความเป็นกรด-ด่าง	5-9	10	5	5	7.66-9.58
	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	ประเภท 1 (≥ 6)	10	5	5	0.60-8.40
		ประเภท 2 (≥ 4)	10	7	3	
		ประเภท 3 (≥ 2)	10	8	2	
		ประเภท 4 (≥ 1)	10	9	1	
		ประเภท 5 (< 1)	10	1	9	
	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	ประเภท 1 (≤ 1.5)	10	5	5	0.10-5.40
		ประเภท 2 (≤ 2)	10	6	4	
		ประเภท 3 (≤ 4)	10	9	1	
		ประเภท 4 (≤ 6)	10	10	0	
		ประเภท 5 (> 6)	10	0	10	
	ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ ⁻ -N)	≤ 5.0 mg/L	10	10	0	0.70-2.40
	แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	≤ 0.5 mg/L	10	1	9	0.49-0.67
ฤดูร้อน	ความเป็นกรด-ด่าง	5-9	10	10	0	6.45-6.85
	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	ประเภท 1 (≥ 6)	10	4	6	1.4-7.6
		ประเภท 2 (≥ 4)	10	7	3	
		ประเภท 3 (≥ 2)	10	8	2	
		ประเภท 4 (≥ 1)	10	10	0	
		ประเภท 5 (< 1)	10	0	10	
	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (mg/L)	ประเภท 1 (≤ 1.5)	10	6	4	0.2-6.6
		ประเภท 2 (≤ 2)	10	6	4	
		ประเภท 3 (≤ 4)	10	7	3	
		ประเภท 4 (≤ 6)	10	8	2	
		ประเภท 5 (> 6)	10	2	8	
	ไนเตรตไนโตรเจน (mg/L·NO ₃ ⁻ -N)	≤ 5.0 mg/L	10	10	0	1.1-2.4
	แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L·NH ₃ -N)	≤ 0.5 mg/L	10	3	7	0.49-0.76

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแฟลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝนมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($p < 0.01$) (ตารางที่ 12) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($p < 0.01$) (ตารางที่ 13) และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าไนเตรตไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในฤดูฝน

	T	A	W	L	Con	pH	Sal	TDS	DO	Tur	Alk	BOD	NO	NH	PO	Ch	Cy	Chl	Cha	Eu	He	Di	Cr
T	1.000																						
A	0.574	1.000																					
W	0.432	0.429	1.000																				
L	0.682	0.954	0.256	1.000																			
Con	0.393	0.704	0.450	0.167	1.000																		
pH	0.754	0.084	0.015*	0.357	0.547	1.000																	
Sal	0.442	0.703	0.271	0.245	2.489e-06***	0.374	1.000																
TDS	0.471	0.770	0.430	0.243	2.501e-07***	0.498	4.572e-07***	1.000															
DO	0.816	0.680	0.112	0.918	0.564	0.095	0.606	0.654	1.000														
Tur	0.422	0.781	0.775	0.906	0.404	0.944	0.333	0.337	0.074	1.000													
Alk	0.498	0.681	0.018*	0.521	0.199	0.301	0.119	0.131	0.336	0.645	1.000												
BOD	0.297	0.699	0.273	0.860	0.928	0.183	0.915	0.833	8.371e-05***	0.019*	0.645	1.000											
NO	0.603	0.197	0.602	0.665	0.797	0.168	0.984	0.955	0.003**	0.069	0.947	0.005**	1.000										
NH	0.177	0.912	0.518	0.283	0.021*	0.897	0.020*	0.036*	0.557	0.186	0.645	0.298	0.273	1.000									
PO	0.865	0.149	0.335	0.777	0.629	0.941	0.627	0.691	0.865	0.491	0.118	0.875	0.803	0.425	1.000								
Ch	0.301	0.100	0.148	0.399	0.933	0.009**	0.827	0.952	0.182	0.947	0.666	0.131	0.216	0.443	0.894	1.000							
Cy	0.709	0.971	0.017*	0.117	0.801	0.049*	0.416	0.597	0.884	0.291	0.148	0.944	0.383	0.620	0.962	0.191	1.000						
Chl	0.204	0.374	0.517	0.604	0.446	0.779	0.549	0.431	0.209	0.931	0.536	0.191	0.302	0.777	0.060	0.867	0.690	1.000					
Cha	0.932	0.932	0.022*	0.043*	0.933	0.118	0.649	0.843	0.994	0.430	0.126	0.916	0.260	0.724	0.780	0.276	2.653e-06***	0.539	1.000				
Eu	0.266	0.015*	0.841	0.775	0.679	0.389	0.669	0.587	0.311	0.143	0.915	0.163	0.0498*	0.201	0.292	0.052	0.466	0.628	0.444	1.000			
He	0.643	0.986	0.611	0.743	0.011*	0.305	0.016*	0.0099**	0.443	0.116	0.587	0.910	0.668	0.297	0.474	0.524	0.554	0.097	0.855	0.539	1.000		
Di	0.134	0.052	0.473	0.420	0.629	0.255	0.913	0.734	0.848	0.917	0.513	0.805	0.965	0.535	0.163	0.021*	0.317	0.326	0.262	0.041*	0.577	1.000	
Cr	0.634	0.018*	0.497	0.756	0.825	0.198	0.908	0.859	0.531	0.478	0.895	0.668	0.872	0.984	0.309	0.034	0.313	0.131	0.373	0.081	0.772	0.001	1.000

หมายเหตุ: T คือ ความลึกที่แสงส่องถึง; A คือ อุณหภูมิอากาศ; W คือ อุณหภูมิน้ำ; L คือ ความเข้มแสง; Con คือ ค่าการนำไฟฟ้า; pH คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง; Sal คือ ความเค็มของน้ำ; TDS คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด; DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ; Tur คือ ความขุ่นของน้ำ; Alk คือ ความเป็นด่าง; BOD คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี; NO คือ ไนเตรตไนโตรเจน; NH คือ แอมโมเนียไนโตรเจน; PO คือ ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้; Ch คือ คลอโรฟิลล์-เอ; Cy คือ Cyanobacteriophyta; Chl คือ Chlorophyta; Cha คือ Charophyta; Eu คือ Euglenophyta; He คือ Heterokontophyta; Di คือ Dinoflagellata; Cr คือ Cryptista; ***Significance level of 0.001; **Significance level of 0.01; *Significance level of 0.05

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว

	T	A	W	L	Con	pH	Sal	TDS	DO	Tur	Alk	BOD	NO	NH	PO	Ch	Cy	Chl	Cha	Eu	He	Di	Cr
T	1.000																						
A	0.254	1.000																					
W	0.343	0.150	1.000																				
L	0.556	0.104	0.017*	1.000																			
Con	0.484	0.270	0.047*	0.388	1.000																		
pH	0.419	0.429	0.146	0.296	0.474	1.000																	
Sal	0.968	0.098	0.530	0.788	0.633	0.549	1.000																
TDS	0.228	0.732	0.198	0.920	0.0008***	0.500	0.953	1.000															
DO	0.195	0.796	0.193	0.666	0.474	0.017*	0.135	0.238	1.000														
Tur	0.194	0.672	0.356	0.725	0.741	0.229	0.106	0.239	0.0014**	1.000													
Alk	0.104	0.965	0.134	0.768	0.061	0.155	0.190	0.005**	0.004**	0.012*	1.000												
BOD	0.210	0.207	0.006**	0.073	0.002**	0.162	0.952	0.023*	0.152	0.338	0.044*	1.000											
NO	0.733	0.092	0.265	0.055	0.357	0.169	0.691	0.888	0.830	0.251	0.887	0.378	1.000										
NH	0.827	0.082	0.350	0.764	0.370	0.195	0.544	0.694	0.221	0.616	0.678	0.435	0.093	1.000									
PO	0.749	0.344	0.321	0.148	0.330	0.197	1.000	0.953	0.584	0.577	0.903	0.255	0.0008***	0.088	1.000								
Ch	0.762	0.811	0.011*	0.136	0.011*	0.206	0.519	0.081	0.354	0.620	0.135	0.009**	0.279	0.534	0.230	1.000							
Cy	0.977	0.722	0.428	0.855	0.012*	0.876	0.485	0.015*	0.660	0.707	0.155	0.055	0.905	0.777	0.814	0.058	1.000						
Chl	0.967	0.319	0.463	0.776	0.135	0.625	0.821	0.154	0.234	0.493	0.126	0.297	0.670	0.197	0.931	0.307	0.019*	1.000					
Cha	0.904	0.436	0.546	0.780	0.188	0.675	0.884	0.229	0.201	0.530	0.123	0.413	0.491	0.160	0.777	0.353	0.069	6.843e-06***	1.000				
Eu	0.391	0.409	0.553	0.099	0.562	0.379	0.858	0.126	0.381	0.255	0.259	0.662	0.398	0.965	0.874	0.993	0.634	0.680	0.576	1.000			
He	0.407	0.402	0.283	0.135	0.351	0.652	0.353	0.597	0.312	0.458	0.863	0.196	0.816	0.178	0.529	0.444	0.300	0.854	0.506	0.560	1.000		
Di	0.977	0.270	0.399	0.695	0.075	0.754	0.912	0.133	0.309	0.711	0.128	0.311	0.363	0.134	0.622	0.287	0.059	5.034e-05***	2.199e-06***	0.568	0.669	1.000	
Cr	0.813	0.969	0.953	0.933	0.758	0.647	0.606	0.548	0.144	0.229	0.185	0.714	0.726	0.573	0.489	0.612	0.095	0.0017**	0.003**	0.744	0.586	0.027*	1.000

หมายเหตุ: T คือ ความลึกที่แสงส่องถึง; A คือ อุณหภูมิอากาศ; W คือ อุณหภูมิน้ำ; L คือ ความเข้มแสง; Con คือ ค่าการนำไฟฟ้า; pH คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง; Sal คือ ความเค็มของน้ำ; TDS คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด; DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ; Tur คือ ความขุ่นของน้ำ; Alk คือ ความเป็นด่าง; BOD คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี; NO คือ ไนเตรตไนโตรเจน; NH คือ แอมโมเนียไนโตรเจน; PO คือ ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้; Ch คือ คลอโรฟิลล์-เอ; Cy คือ Cyanobacteriophyta; Chl คือ Chlorophyta; Cha คือ Charophyta; Eu คือ Euglenophyta; He คือ Heterokontophyta; Di คือ Dinoflagellata; Cr คือ Cryptista; ***Significance level of 0.001; **Significance level of 0.01; *Significance level of 0.05

	T	A	W	L	Con	pH	Sal	TDS	DO	Tur	Alk	BOD	NO	NH
T	1													
A	0.254	1												
W	0.343	0.15	1											
L	0.556	0.104	0.01672*	1										
Con	0.484	0.27	0.04708*	0.388	1									
pH	0.419	0.429	0.146	0.296	0.474	1								
Sal	0.968	0.098	0.53	0.788	0.633	0.549	1							
TDS	0.228	0.732	0.198	0.92	0.0007513**	0.5	0.953	1						
DO	0.195	0.796	0.193	0.666	0.474	0.01698*	0.135	0.238	1					
Tur	0.194	0.672	0.356	0.725	0.741	0.229	0.106	0.239	0.001442**	1				
Alk	0.104	0.965	0.134	0.768	0.061	0.155	0.19	0.005249**	0.003842**	0.01233*	1			
BOD	0.21	0.207	0.0064**	0.073	0.002408**	0.162	0.952	0.02323*	0.152	0.338	0.04409*	1		
NO	0.733	0.092	0.265	0.055	0.357	0.169	0.691	0.888	0.83	0.251	0.887	0.378	1	
NH	0.827	0.082	0.35	0.764	0.37	0.195	0.544	0.694	0.221	0.616	0.678	0.435	0.093	1
PO	0.749	0.344	0.321	0.148	0.33	0.197	1	0.953	0.584	0.577	0.903	0.255	0.0007891***	0.088
Ch	0.762	0.811	0.01142*	0.136	0.01059*	0.206	0.519	0.081	0.354	0.62	0.135	0.008859**	0.279	0.534
Cy	0.977	0.722	0.428	0.855	0.01179*	0.876	0.485	0.01512*	0.66	0.707	0.155	0.055	0.905	0.777
Chl	0.967	0.319	0.463	0.776	0.135	0.625	0.821	0.154	0.234	0.493	0.126	0.297	0.67	0.197
Cha	0.904	0.436	0.546	0.78	0.188	0.675	0.884	0.229	0.201	0.53	0.123	0.413	0.491	0.16
Eu	0.391	0.409	0.553	0.099	0.562	0.379	0.858	0.126	0.381	0.255	0.259	0.662	0.398	0.965
He	0.407	0.402	0.283	0.135	0.351	0.652	0.353	0.597	0.312	0.458	0.863	0.196	0.816	0.178
Di	0.977	0.27	0.399	0.695	0.075	0.754	0.912	0.133	0.309	0.711	0.128	0.311	0.363	0.134
Cr	0.813	0.969	0.953	0.933	0.758	0.647	0.606	0.548	0.144	0.229	0.185	0.714	0.726	0.573

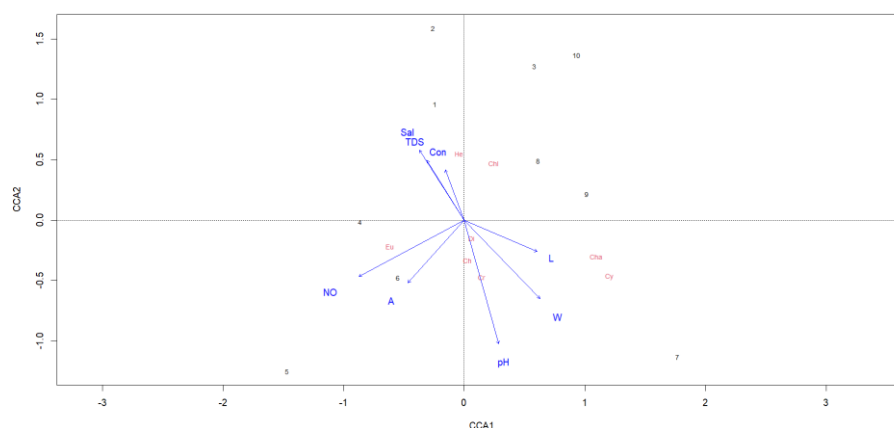
ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อน

[illegible]

A	0.254	1.000																							
W	0.343	0.150	1.000																						
L	0.556	0.104	0.017*	1.000																					
Con	0.483	0.270	0.047*	0.388	1.000																				
pH	0.419	0.429	0.146	0.296	0.474	1.000																			
Sal	0.968	0.098	0.530	0.788	0.633	0.549	1.000																		
TDS	0.228	0.732	0.198	0.920	0.0008***	0.500	0.953	1.000																	
DO	0.195	0.796	0.193	0.666	0.473	0.017*	0.135	0.238	1.000																
Tur	0.194	0.672	0.356	0.725	0.741	0.229	0.106	0.239	0.0014**	1.000															
Alk	0.104	0.965	0.134	0.768	0.061	0.155	0.190	0.005*	0.004**	0.012*	1.000														
BOD	0.210	0.209	0.006**	0.073	0.002**	0.162	0.952	0.023	0.152	0.338	0.044*	1.000													
NO	0.733	0.092	0.265	0.055	0.357	0.169	0.694	0.888	0.830	0.251	0.887	0.378	1.000												
NH	0.827	0.082	0.350	0.764	0.370	0.195	0.544	0.694	0.220	0.616	0.678	0.435	0.093	1.000											
PO	0.749	0.344	0.321	0.148	0.330	0.197	1.000	0.953	0.584	0.577	0.902	0.255	0.0008***	0.088	1.000										
Ch	0.892	0.238	0.395	0.164	0.216	0.542	0.852	0.622	0.566	0.531	0.452	0.428	0.009**	0.211	0.053	1.000									
Cy	0.965	0.262	0.543	0.338	0.293	0.653	0.806	0.577	0.449	0.751	0.346	0.591	0.048*	0.203	0.167	3.068e-06***	1.000								
Chl	0.825	0.529	0.811	0.953	0.576	0.816	0.787	0.590	0.422	0.653	0.332	0.956	0.798	0.315	0.771	0.063	0.013*	1.000							
Cha	0.995	0.652	0.480	0.958	0.048*	0.864	0.583	0.033	0.474	0.470	0.131	0.145	0.725	0.593	0.520	0.586	0.472	0.073	1.000						
Eu	0.418	0.887	0.142	0.073	0.839	0.933	0.381	0.339	0.590	0.727	0.442	0.654	0.683	0.656	0.626	0.741	0.447	0.366	0.446	1.000					
He	0.268	0.712	0.354	0.555	0.331	0.205	0.621	0.343	0.456	0.429	0.530	0.046*	0.971	0.885	0.465	0.296	0.157	0.039*	0.968	0.705	1.000				
Di	0.645	0.858	0.499	0.502	0.837	0.445	0.386	0.805	0.681	0.948	0.732	0.719	0.720	0.971	0.491	0.421	0.350	0.132	0.458	0.705	0.094	1.000			
Cr	0.658	0.980	0.699	0.417	0.988	0.066	0.960	0.582	0.236	0.138	0.554	0.829	0.571	0.453	0.585	0.139	0.168	0.432	0.779	0.693	0.237	0.693	1.000		

หมายเหตุ: T คือ ความลึกที่แสงส่องถึง; A คือ อุณหภูมิอากาศ; W คือ อุณหภูมิน้ำ; L คือ ความเข้มแสง; Con คือ ค่าการนำไฟฟ้า; pH คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง; Sal คือ ความเค็มของน้ำ; TDS คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด; DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ; Tur คือ ความขุ่นของน้ำ; Alk คือ ความเป็นด่าง; BOD คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี; NO คือ ไนโตรที่ไนโตรเจน; NH คือ แอมโมเนียไนโตรเจน; PO คือ ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้; Ch คือ คลอโรฟิลล์-*a*; Cy คือ Cyanobacteriophyta; Chl คือ Chlorophyta; Cha คือ Charophyta; Eu คือ Euglenophyta; He คือ Heterokontophyta; Di คือ Dinoflagellata; Cr คือ Cryptista; ***Significance level of 0.001; **Significance level of 0.01; *Significance level of 0.05

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูฝน (ภาพที่ 9) พบว่าแกน X (CCA1) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 63.06 และแกน Y (CCA2) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 24.55 (ตารางที่ 15)

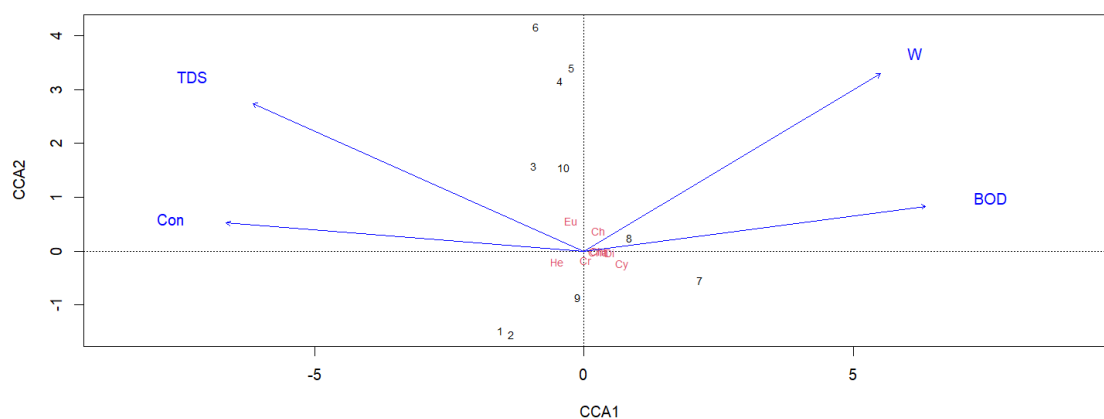


ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ดิวิชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูฝน

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูฝน

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4	CCA5	CCA6	CCA7
ค่าไอเกน	0.3535	0.1377	0.03471	0.02204	0.009962	0.002684	7.071e-05
สัดส่วนที่อธิบายได้	0.6306	0.2455	0.06191	0.03930	0.017768	0.004786	1.261e-04
สัดส่วนรวม	0.6306	0.8761	0.93802	0.97732	0.995088	0.999874	1.000e+00

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูหนาว (ภาพที่ 10) พบว่าแกน X (CCA1) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 69.73 และแกน Y (CCA2) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 23.84 (ตารางที่ 16)

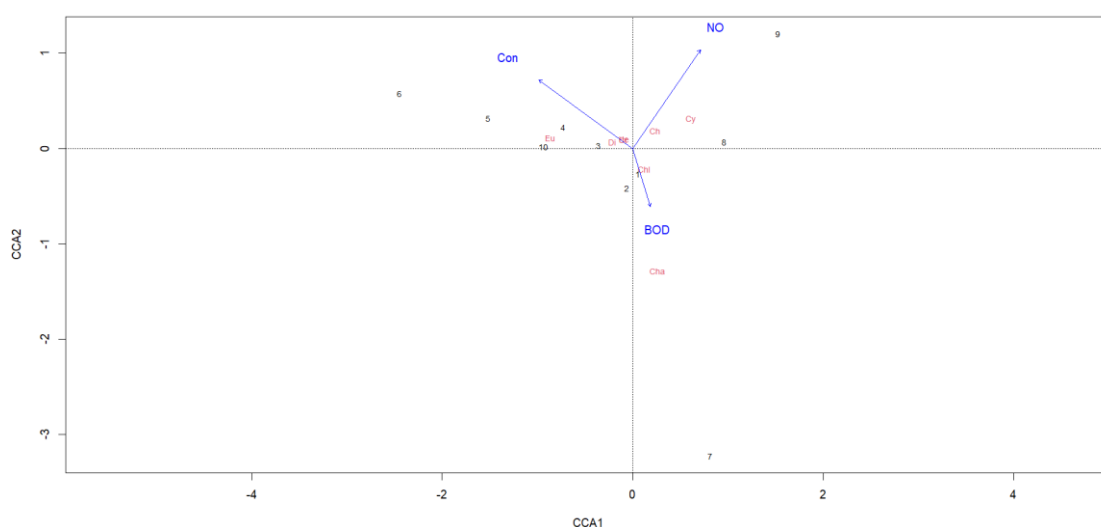


ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ดิวิชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูหนาว

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูหนาว

	CCA1	CCA2	CCA3	CCA4
ค่าไอเกน	0.1842	0.06295	0.01471	0.002273
สัดส่วนที่อธิบายได้	0.6973	0.23835	0.05570	0.008604
สัดส่วนรวม	0.6973	0.93569	0.99140	1.000000

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูร้อน (ภาพที่ 11) พบว่าแกน X (CCA1) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 50.11 และแกน Y (CCA2) มีส่วนที่สามารถอธิบายได้ร้อยละ 30.52 (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง ดิวิชันของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูร้อน

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในฤดูร้อน

	CCA1	CCA2	CCA3
ค่าไอเกน	0.3163	0.1927	0.1222
สัดส่วนที่อธิบายได้	0.5011	0.3052	0.1936
สัดส่วนรวม	0.5011	0.8064	1.0000

ผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

1. แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกในการพยากรณ์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากผลการใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกในการพยากรณ์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ โดยใช้โปรแกรม R version 4.6.0 โดยการใช้จุดเก็บตัวอย่างภายในพื้นที่หนองหลวง จำนวน 10 จุด และกำหนดค่า Threshold ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เท่ากับ 2 (ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในทั้ง 3 ฤดูกาล) พบว่า ไม่มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (ตารางที่ 18 ถึง ตารางที่ 20) จากตารางที่ 18 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบ เท่ากับ 20.338 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ร้อยละ 38.06 (สมการที่ 3)

$$Z = -25.6 - 0.1336A - 0.8299W - 0.000006139L + 7.145pH - 0.3012NO \quad (3)$$

จากสมการที่ 2 พบว่าอุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิน้ำ, ความเข้มแสง และไนเตรตไนโตรเจนมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าอุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิน้ำ, ความเข้มแสง และไนเตรตไนโตรเจนมาก โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะลดลง ส่วนความเป็นกรด-ด่างมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้มีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีความเป็นกรด-ด่างมาก โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อแพลงก์ตอนพืชในฤดูฝน

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	-2.560e+01	4.201e+01	-0.609	0.542
A	-1.336e-01	6.840e-01	-0.195	0.845
W	-8.299e-01	1.506e+00	-0.551	0.581
L	-6.139e-06	8.042e-05	-0.076	0.939
pH	7.145e+00	6.790e+00	1.052	0.293
NO	-3.012e-01	2.191e+00	-0.137	0.891

หมายเหตุ: A คือ อุณหภูมิอากาศ; W คือ อุณหภูมิน้ำ; L คือ ความเข้มแสง; pH คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง; NO คือ ไนเตรตไนโตรเจน; pseudo-R² = 38.06, AIC = 20.338, AUC = 0.75, R² = 1, RMSE = 0.685394, MAE = 0.6736023, Resampling: Cross-validated (9 fold)

จากตารางที่ 19 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบ เท่ากับ 12.829 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ร้อยละ 50.74 (สมการที่ 4)

$$Z = -83.6670 + 3.2674W - 0.1201BOD \quad (4)$$

จากสมการที่ 4 พบว่าอุณหภูมิมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้มีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้น ส่วนความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมาก โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะลดลง

ตารางที่ 19 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	-83.6670	65.3779	-1.280	0.201
W	3.2674	2.5755	1.269	0.205
BOD	-0.1201	0.7645	-0.157	0.875

หมายเหตุ: W คือ อุณหภูมิ; BOD คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี; pseudo-R² = 50.74, AIC = 12.829, AUC = 0.88, R² = 1, RMSE = 0.2935217, MAE = 0.2705098, Resampling: Cross-validated (9 fold)

จากตารางที่ 20 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบ เท่ากับ 16.171 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ร้อยละ 18.36 (สมการที่ 5)

$$Z = -1.666877 - 0.008844Con - 0.256016BOD + 3.807704NO \quad (5)$$

จากสมการที่ 5 พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าค่าการนำไฟฟ้าและความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมาก โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะลดลง ส่วนไนเตรตไนโตรเจนมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรนี้มีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีไนเตรตไนโตรเจนมาก โอกาสการพบแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้น

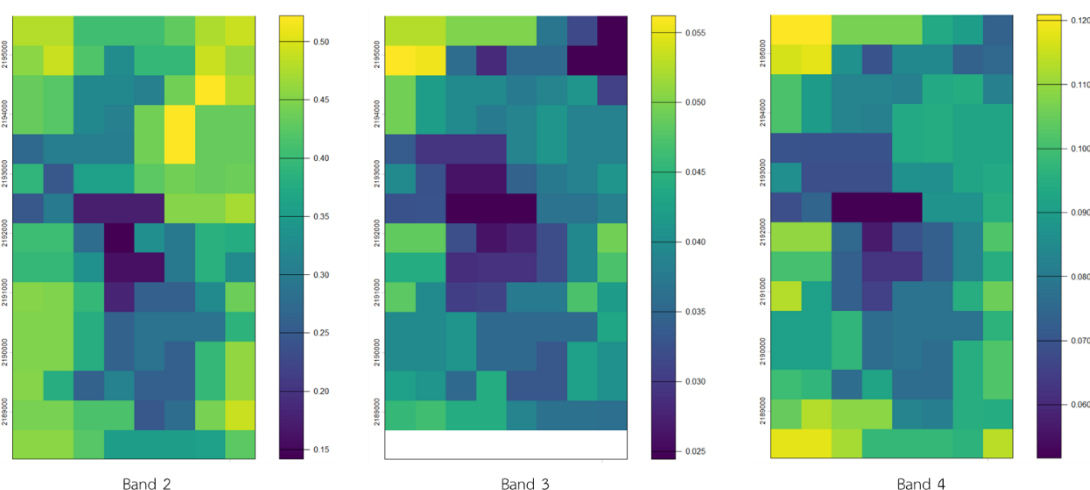
ตารางที่ 20 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อน

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	-1.666877	8.354730	-0.200	0.842
Con	-0.008844	0.074924	-0.118	0.906
BOD	-0.256016	0.917958	-0.279	0.780
NO	3.807704	3.677649	1.035	0.300

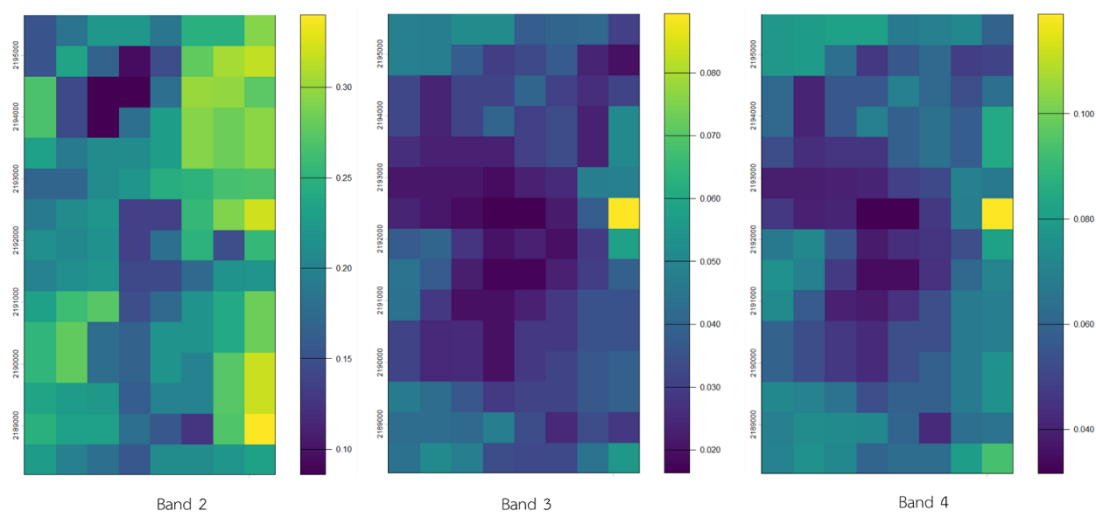
หมายเหตุ: Con คือ ค่าการนำไฟฟ้า; BOD คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี; NO คือ ไนเตรตไนโตรเจน; pseudo-R² = 18.36, AIC = 16.171, AUC = 0.75, R² = 1, RMSE = 0.5318892, MAE = 0.5088774, Resampling: Cross-validated (9 fold)

2. การประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง

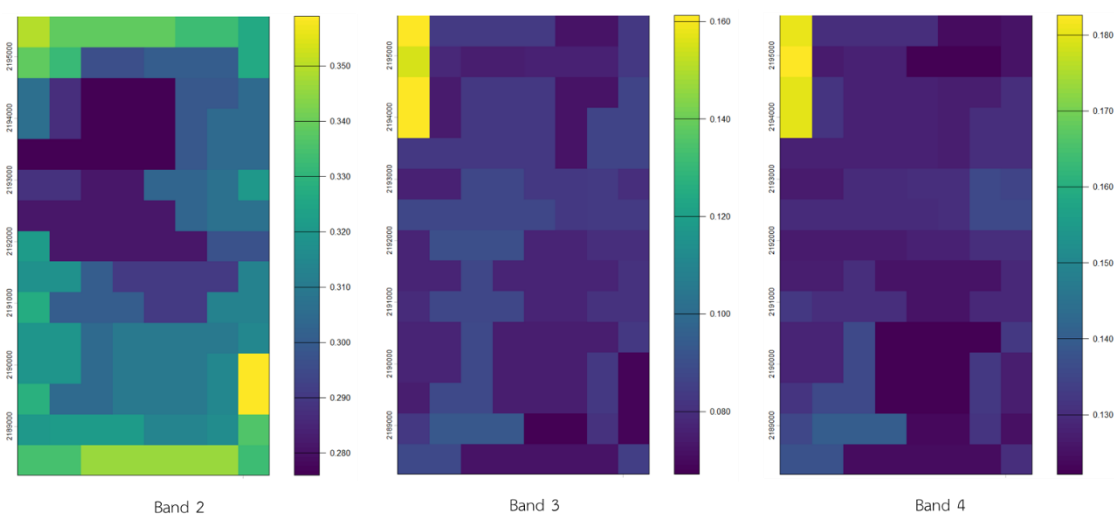
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ พบว่าไม่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อโอกาสการพบแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ดาวเทียม MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance รายละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตร ในแบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ซึ่งส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Back et al., 2015; Intacharoen et al., 2021; Moëzzi et al., 2020; King et al., 2022) ที่ได้จาก <https://www.earthdata.nasa.gov/> โดยถ่ายภาพในวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2568, 7 ธันวาคม พ.ศ. 2568 และ 5 มีนาคม พ.ศ. 2569 ซึ่งไม่มีเมฆปกคลุม (ภาพที่ 12 ถึง ภาพที่ 14) เพื่อให้ค่าคลอโรฟิลล์-เอในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างสอดคล้องกับค่าการสะท้อนพื้นผิวในแต่ละพิกเซล โดยวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกในโปรแกรม R version 4.6.0 และ RStudio version 2026.05.0 เพื่อประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง



ภาพที่ 12 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2568 (ชุดข้อมูลที่ MYD09GA.A2025257.h27v07.061.2025259031032.hdf)



ภาพที่ 13 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2568 (ชุดข้อมูลที่ MYD09GAA2025341.h27v07.061.2025343024459)



ภาพที่ 14 MODIS ระบบ Terra Surface Reflectance แบนด์ 2, แบนด์ 3 แบนด์ 4 ถ่ายภาพในวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2569 (ชุดข้อมูลที่ MOD09GAA2026064.h27v07.061.2026065013609.NRT.hdf)

จากตารางที่ 21 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบ เท่ากับ 18.46 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชร้อยละ 22.29 (สมการที่ 6)

$$Z = -11.70 - 13.17b_2 + 365.56b_3 + 22.73b_4 \quad (6)$$

จากสมการที่ 6 พบว่าแบนด์ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าค่าการสะท้อนในแบนด์ 2 สูง โอกาสการสะท้อนของแพลงก์ตอนพืชจะลดลง ส่วนค่าการสะท้อนในแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรมีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีค่าการสะท้อนในแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 สูง โอกาสการพบการสะท้อนของแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้น

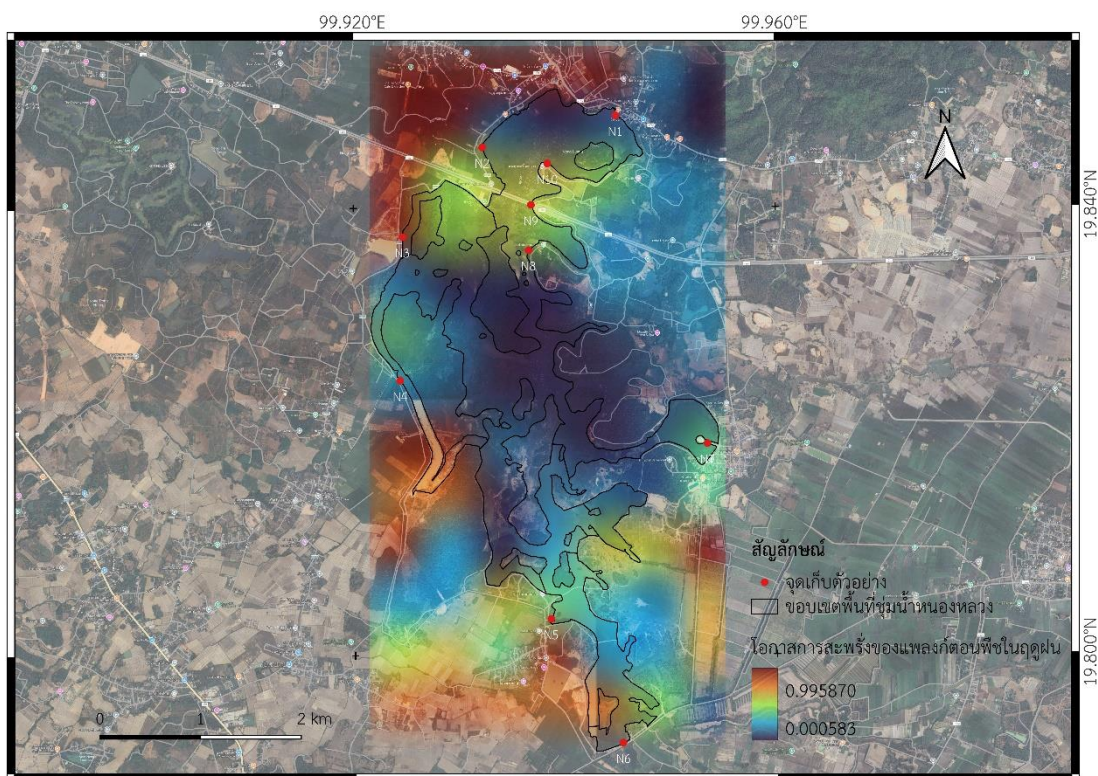
ตารางที่ 21 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝน

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	-11.70	12.78	-0.916	0.360
Band2	-13.17	23.82	-0.553	0.580
Band3	365.56	640.37	0.571	0.568
Band4	22.73	401.93	0.057	0.955

หมายเหตุ: pseudo-R² (McFadden) = 22.29, AUC = 0.67, RMSE = 1.09, Resampling: Cross-validated (10 fold), Accuracy 0.4

จากการนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนของแพลงก์ตอนพืชกับค่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 2 แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ตามสมการที่ 6 แล้วนำไปคำนวณการถดถอยโลจิสติกตามสมการที่ 7 ใน Raster Calculator แล้ว Resampling โดยใช้ Cubic (4x4 Kernel) ในโปรแกรม QGIS version 4.0.2 พบว่าบริเวณจุดที่ 6 มีโอกาสเกิดการสะท้อนของแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ สูง (ภาพที่ 15)

$$\text{การสะท้อนของแพลงก์ตอนพืช} = 1 / (1 + 2.71828 ^ {(-(-11.70 + (-13.17 * \text{"band2_14Sep25@1"}) + (365.56 * \text{"band3_14Sep25@1"}) + (22.73 * \text{"band4_14Sep25@1"})))) \quad (7)$$



ภาพที่ 15 โอกาสการสะสมของเพลิงไหม้ในพื้นที่ป่า

จากตารางที่ 22 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกตัวแบบ เท่ากับ 20.84 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายการสะสมของเพลิงไหม้ร้อยละ 7.40 (สมการที่ 8)

$$Z = 3.307 - 2.97b_2 - 114.072b_3 + 10.222b_4 \quad (8)$$

จากสมการที่ 8 พบว่าแบนด์ 2 และ แบนด์ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าค่าการสะท้อนในแบนด์ 2 และ แบนด์ 3 สูง โอกาสการสะสมของเพลิงไหม้จะลดลง ส่วนค่าการสะท้อนในแบนด์ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีค่าการสะท้อนในแบนด์ 4 สูง โอกาสการพบการสะสมของเพลิงไหม้จะเพิ่มขึ้น

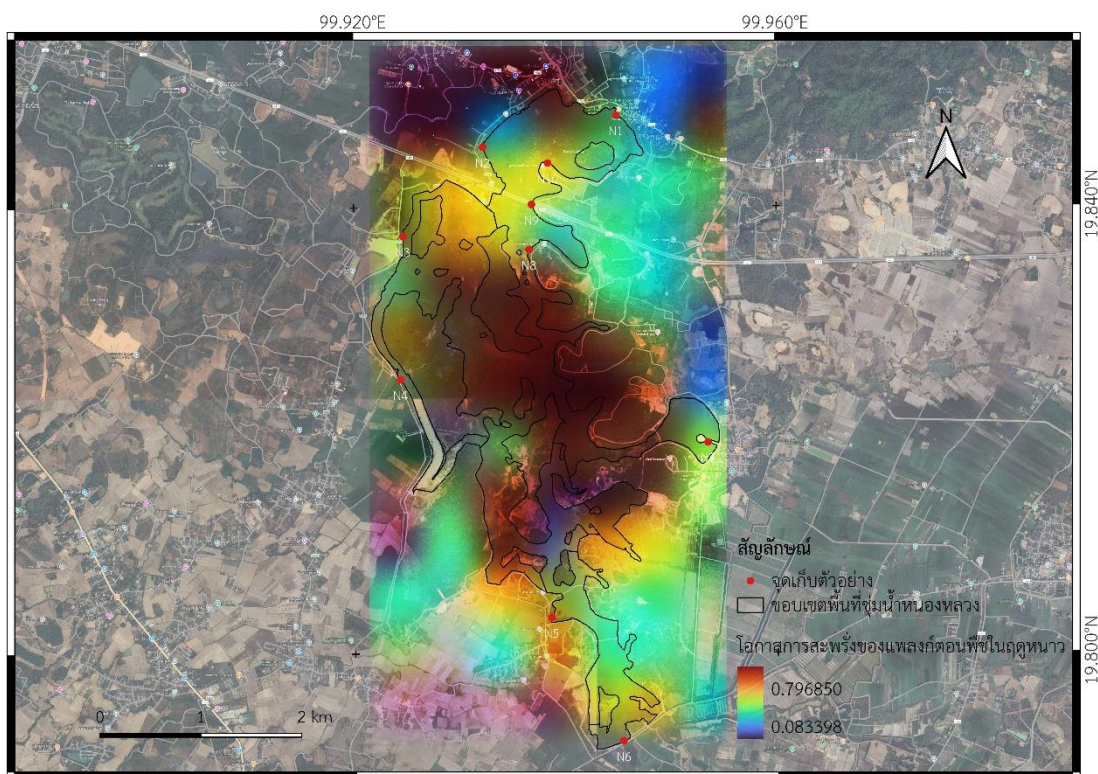
ตารางที่ 22 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาว

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	3.307	4.836	0.684	0.494
Band2	-2.970	11.968	-0.248	0.804
Band3	-114.072	393.939	-0.290	0.772
Band4	10.222	285.577	0.036	0.971

หมายเหตุ: pseudo-R² (McFadden) = 7.40, AUC = 0.8, RMSE = 1.11, Resampling: Cross-validated (8 fold), Accuracy 0.25

จากการนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนรังสีของแพลงก์ตอนพืชกับค่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 2 แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ตามสมการที่ 8 แล้วนำไปคำนวณการถดถอยโลจิสติกตามสมการที่ 9 ใน Raster Calculator แล้ว Resampling โดยใช้ Cubic (4x4 Kernel) ในโปรแกรม QGIS version 4.0.2 พบว่าบริเวณจุดที่ 5, 6 และ 7 มีโอกาสเกิดการสะท้อนรังสีของแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ สูง (ภาพที่ 16)

$$\begin{aligned} \text{การสะท้อนรังสีของแพลงก์ตอนพืช} = & 1 / (1 + 2.71828 ^ {-(3.307 + (-2.970 * \\ & \text{"band2_7Dec25@1"}) + (-114.072 * \\ & \text{"band3_7Dec25@1"}) + (10.222 * \\ & \text{"band4_7Dec25@1"}))}) \end{aligned} \quad (9)$$



ภาพที่ 16 โอกาสการสระพังของแพลงก์ตอนพืชในฤดูหนาว

จากตารางที่ 23 ได้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแบบ เท่ากับ 13.55 และได้ค่า Pseudo-R² ซึ่งใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองในการใช้ทำนายการสระพังของแพลงก์ตอนพืชร้อยละ 44.59 (สมการที่ 10)

$$Z = -36.64 + 2492.83b_2 + 4772.53b_3 - 8176.16b_4 \quad (10)$$

จากสมการที่ 10 พบว่าแบนด์ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบซึ่งแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลเชิงลบ หมายความว่า ถ้าค่าการสะท้อนในแบนด์ 4 สูง โอกาสการสระพังของแพลงก์ตอนพืชจะลดลง ส่วนค่าการสะท้อนในแบนด์ 2 และแบนด์ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกซึ่งแสดงว่าตัวแปรมีผลเชิงบวก หมายความว่า พื้นที่ที่มีค่าการสะท้อนในแบนด์ 2 และแบนด์ 3 สูง โอกาสการพบการสระพังของแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้น

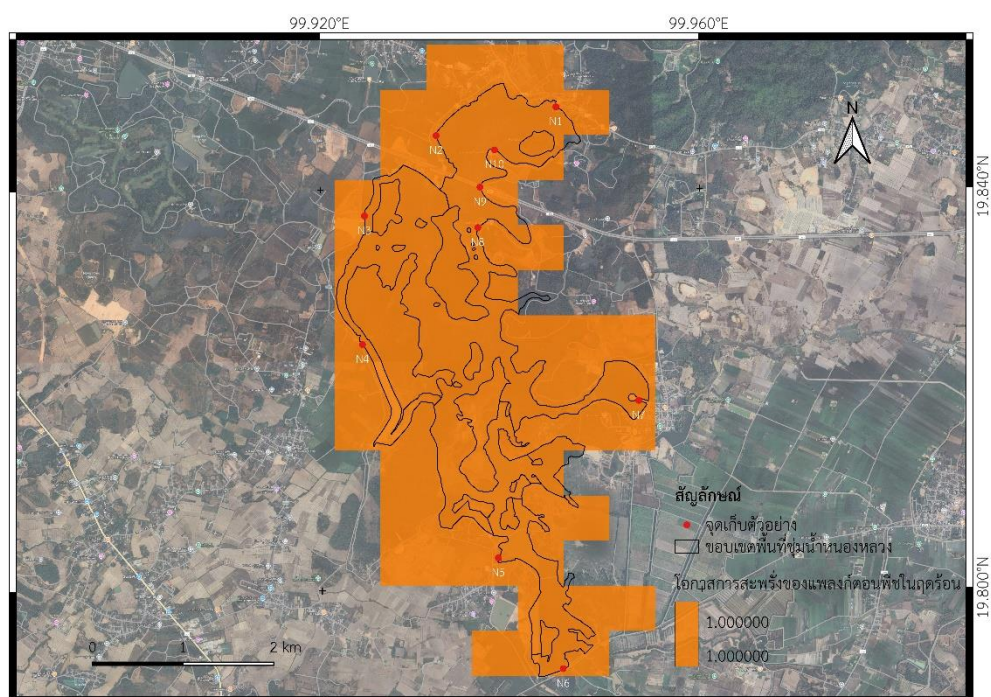
ตารางที่ 23 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกของช่วงคลื่นที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูแล้ง

Variables	Coefficients	Std. Error	Z value	Pr (> z)
(Intercept)	-36.64	529266.01	0.000	1.000
Band2	2492.83	1313542.89	0.002	0.998
Band3	4772.53	2992554.42	0.002	0.999
Band4	-8176.16	8382375.28	-0.001	0.999

หมายเหตุ: pseudo-R² (McFadden) = 44.59, AUC = 0.88, RMSE = 1.05, Resampling: Cross-validated (10 fold), Accuracy 0.5

จากการนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนของแสงของแพลงก์ตอนพืชกับค่าการสะท้อนแสงของแบนด์ 2 แบนด์ 3 และแบนด์ 4 ตามสมการที่ 10 แล้วนำไปคำนวณการถดถอยโลจิสติกตามสมการที่ 11 ใน Raster Calculator แล้ว Resampling โดยใช้ Cubic (4x4 Kernel) ในโปรแกรม QGIS version 4.0.2 พบว่าบริเวณทุกจุดมีโอกาสเกิดการสะท้อนของแสงของแพลงก์ตอนพืชซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ สูง (ภาพที่ 17)

$$\begin{aligned} \text{การสะท้อนของแสงของแพลงก์ตอนพืช} = & 1 / (1 + 2.71828 ^ {(-36.64 + (2492.83 * (11) \\ & \text{"band2_5Mar26@1") + (4772.53 *} \\ & \text{"band3_5Mar26@1") + (-8176.16 *} \\ & \text{"band4_5Mar26@1"))})) \end{aligned}$$



ภาพที่ 17 โอกาสการสะท้อนของแสงของแพลงก์ตอนพืชในฤดูแล้ง

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช

จากการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย พบแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งสิ้น 7 ดิวิชัน 78 สกุล และ 107 ชนิด โดยจำนวนชนิดมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน กล่าวคือ ฤดูฝนพบ 72 ชนิด เพิ่มขึ้นเป็น 78 ชนิดในฤดูแล้ง และลดลงเล็กน้อยเหลือ 73 ชนิดในฤดูร้อน แนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงพลวัตของชุมชนแพลงก์ตอนพืชที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ แม้ดำเนินการในพื้นที่เดียวกัน แต่พบความแตกต่างของจำนวนชนิด เช่น การศึกษาของประเสริฐ ไวยะกา (2555) รายงานพบ 5 ดิวิชัน 48 สกุล 114 ชนิด และมีโชค เหลี่ยมมาและคณะ (2566) พบเพียง 4 ดิวิชัน 21 ชนิด ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากปัจจัยด้านตำแหน่ง ช่วงเวลา และความรู้ในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีผลต่อการตรวจพบชนิดของแพลงก์ตอนพืชโดยตรง (Wetzel, 2001) ผลการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่า ดิวิชัน Chlorophyta เป็นกลุ่มเด่นในทุกฤดูกาล โดยมีทั้งความหลากหลายและปริมาณสูงสุด สะท้อนถึงศักยภาพในการปรับตัวต่อช่วงระดับสารอาหารที่กว้าง ตั้งแต่คุณภาพดีจนถึงน้ำที่มีสารอาหารสูง อีกทั้งมักพบในบริเวณผิวน้ำหรือเขตที่มีแสงส่องถึง (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549) จึงสามารถเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลสนับสนุนว่าสาหร่ายกลุ่มนี้มีความหลากหลายสูงมาก โดยพบมากกว่า 6,851 ชนิด (Guiry, 2024) และกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำจืด (Wehr and Sheath, 2003) ขณะเดียวกัน การพบ Euglenophyta ในสัดส่วนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในฤดูฝนและฤดูร้อน อาจสะท้อนถึงการสะสมของอินทรีย์วัตถุและสารอาหารจากน้ำไหลบ่า ซึ่งเป็นลักษณะของแหล่งน้ำที่มีอินทรีย์สารสูง สอดคล้องกับ Palmer (1969) ที่เสนอให้กลุ่มยูกลีโนไนด์เป็นตัวบ่งชี้น้ำที่มีมลภาวะอินทรีย์

โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและความหลากหลายทางชีวภาพตามฤดูกาล

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลาย ดัชนีความสม่ำเสมอ และจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละฤดูกาล พบว่าในฤดูฝนมีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meesukko et al. (2007) ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากการไหลบ่าของสารอาหารจากพื้นที่โดยรอบ ในช่วงฤดูฝน ส่งผลให้แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรต รวมถึงฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (SRP) ซึ่งเป็นรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง (Wetzel, 2001; Chapman & Chapman, 1975)

ค่าดัชนีความหลากหลายเฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 3.04–3.40 จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง สะท้อนถึงโครงสร้างชุมชนที่มีความสมดุลของชนิดและความหนาแน่นของประชากร ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ดอกรัก มารอด (2550) และ Magurran (2004) ที่ระบุว่าความหลากหลายทางชีวภาพขึ้นอยู่กับทั้งจำนวนชนิดและความสม่ำเสมอของประชากร เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ มีโชค เหลี่ยมมา และคณะ (2566) ซึ่งรายงานค่าดัชนีต่ำกว่า (1.24–1.50) และงานของ Prasertsin et al. (2018) ที่มีค่า

ใกล้เคียงกัน (3.41) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษานี้มีความหลากหลายในระดับค่อนข้างสูง ในฤดูฝน ความแปรผันของสภาพแวดล้อมจากการไหลบ่าของน้ำและสารอาหาร ส่งผลให้ไม่เกิดการครอบงำของชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างชัดเจน ทำให้เกิดการกระจายตัวของประชากรอย่างสมดุล และส่งผลให้ค่าความหลากหลายสูง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Padisák et al. (2009) และ Lommetta et al. (2005) ที่เสนอว่าความแปรผันของสิ่งแวดล้อมในระดับปานกลางเอื้อต่อการเพิ่มความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต องค์ประกอบของชนิดเด่นในแต่ละฤดูกาลยังสะท้อนถึงสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำอย่างชัดเจน โดยในฤดูฝนพบสกุลเด่น เช่น *Trachelomonas*, *Peridinium* และ *Planktolyngbya* ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพน้ำที่มีอินทรีย์วัตถุและสารอาหารสูง ขณะที่ฤดูหนาวพบจำนวนชนิดเด่นเพิ่มขึ้น เช่น *Dinobryon*, *Ceratium* และ *Staurastrum* สะท้อนถึงสภาพแวดล้อมที่มีเสถียรภาพและเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแพลงก์ตอนพืชหลากหลายกลุ่ม ส่วนในฤดูร้อนพบชนิดเด่นลดลงและมีแนวโน้มเป็นกลุ่มที่ทนต่อสภาพแวดล้อมรุนแรง โดยเฉพาะ *Dolichospermum* ซึ่งมักพบในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูง แม้ว่าชนิดเด่นที่พบจะแตกต่างจากรายงานของ มีโชค เหลี่ยมมา และคณะ (2566) ที่พบแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นในฤดูหนาว ได้แก่ *Staurastrum* cf. *longbrachiatum*, *Staurodesmus convergens* var. *labporteii* และ *Dictyosphaerium tetrachomum* ฤดูร้อน ได้แก่ *Dictyosphaerium tetrachomum*, *Staurodesmus convergens* var. *labporteii*, *Trachelomonas* sp. และฤดูฝน ได้แก่ *Dictyosphaerium tetrachomum* Printz, *Botryococcus braunii* และ *Cosmarium askeasyi* แต่รูปแบบเชิงนิเวศยังคงสอดคล้องกัน กล่าวคือ ฤดูหนาวเป็นช่วงที่มีความหลากหลายสูงและคุณภาพน้ำดี ขณะที่ฤดูร้อนมีแนวโน้มการครอบงำของชนิดที่ทนต่อสภาพแวดล้อมรุนแรง และฤดูฝนสะท้อนอิทธิพลของการไหลบ่าของสารอาหารจากพื้นที่โดยรอบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในระบบนิเวศน้ำจืด

การประเมินคุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทั้งทางด้านกายภาพและเคมีของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง จังหวัดเชียงราย แสดงให้เห็นว่าหนองหลวงเป็นระบบนิเวศน้ำที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลในเชิงปริมาณน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ยังเปลี่ยนแปลงในเชิงสถานะการทำงานของระบบด้วย กล่าวคือ แม้ความลึกเฉลี่ยของน้ำทั้งสามฤดูกาลจะใกล้เคียงกันมาก โดยอยู่ราว 1.22–1.23 เมตร แต่คุณภาพของคอลัมน์น้ำ (water column) กลับเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน โดยความลึกที่แสงส่องถึง (Secchi depth) ลดลงต่อเนื่องจาก 0.74 ± 0.31 เมตร ในฤดูฝน เป็น 0.57 ± 0.46 เมตร ในฤดูหนาว และเหลือเพียง 0.45 ± 0.32 เมตร ในฤดูร้อน ขณะที่ความขุ่นเพิ่มจาก 12.56 ± 9.31 NTU ในฤดูฝน เป็น 17.59 ± 10.71 NTU ในฤดูหนาว และยังคงอยู่ในระดับสูงในฤดูร้อน นอกจากนี้ ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids; TDS) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) ยังแสดงรูปแบบที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของมวลสารในระบบ โดยฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120.14 mg/L และ $132.28 \mu\text{S/cm}$ ตามลำดับ ก่อนลดลงในฤดูหนาว และเปลี่ยนแปลงอีกครั้งในฤดูร้อน รูปแบบดังกล่าวอาจบ่งชี้ว่าสิ่งที่เปลี่ยนแปลงในหนองหลวงไม่ใช่เพียงระดับน้ำ แต่สะท้อนถึง

ความสามารถของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำในการรักษาความใสของน้ำ การควบคุมการกระจายและการแขวนลอยของอนุภาคในคอลัมน์น้ำ ตลอดจนการควบคุมการหมุนเวียนของธาตุอาหารภายในระบบ

เมื่อพิจารณาตามหลักอุทกวิทยาตามฤดูกาล (seasonal hydrology) จะเห็นได้ว่าฤดูกาลทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมว่าระบบจะได้รับอิทธิพลจากการนำเข้าสู่สารจากภายนอก หรือจากการสะสมและการหมุนเวียนสารกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบ ในช่วงฤดูฝน ระบบมีแนวโน้มได้รับตะกอนสารอินทรีย์ และธาตุอาหารจากน้ำไหลบ่าผิวดิน (runoff) มากที่สุด ขณะที่ฤดูหนาวและฤดูร้อนมีการไหลเวียนของน้ำลดลง และมีระยะเวลาการกักพักของน้ำ (residence time) สูงขึ้น ซึ่งเอื้อให้สารที่ถูกนำเข้าสู่ระบบก่อนหน้านี้ตกค้าง สะสม หรือถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบมากขึ้น แนวคิดนี้สอดคล้องกับ Brinson (1988) ซึ่งเสนอว่า ระยะเวลาการท่วมขังของน้ำ (hydroperiod) เป็นตัวกำหนดหน้าที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาน้ำท่วมขังและการเชื่อมต่อทางอุทกวิทยาจะส่งผลต่อทั้งสภาพรีดอกซ์ (redox conditions) กระบวนการในตะกอน และการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในระบบ นอกจากนี้ Whigham et al. (1988) ยังอธิบายว่า การทำความเข้าใจผลของพื้นที่ชุ่มน้ำต่อคุณภาพน้ำจำเป็นต้องพิจารณาในระดับภูมิทัศน์ ไม่ใช่พิจารณาเพียงตัวแหล่งน้ำแบบโดดเดี่ยว เนื่องจากตำแหน่งของพื้นที่ชุ่มน้ำในลุ่มน้ำและการเชื่อมต่อกับพื้นที่ใช้ประโยชน์โดยรอบจะกำหนดทั้งชนิดและปริมาณสารที่ไหลเข้าสู่ระบบ ดังนั้น การที่ความลึกเฉลี่ยของหนองหลวงไม่แตกต่างกันมาก แต่ความโปร่งใสลดลงต่อเนื่อง จึงอาจสะท้อนการเปลี่ยนจากระบบที่ถูกควบคุมโดยการไหลพัดพาในฤดูฝน ไปสู่ระบบที่ถูกควบคุมโดยการสะสมและการหมุนเวียนสารภายในในฤดูกาลที่การไหลเวียนต่ำมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนเชิงหน้าที่ของระบบ กล่าวคือ ค่า DO เฉลี่ยต่ำสุดในฤดูฝนที่ 3.02 ± 2.02 mg/L ก่อนเพิ่มขึ้นเป็น 5.30 ± 2.60 mg/L ในฤดูหนาว และ 4.82 ± 2.22 mg/L ในฤดูร้อน ขณะที่ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical oxygen demand; BOD) เฉลี่ยไม่สูงมากในภาพรวม โดยอยู่ที่ 2.43 ± 2.44 , 2.18 ± 1.84 และ 2.28 ± 2.57 mg/L ตามลำดับ แต่มีบางจุดที่ BOD สูงถึง 7.2 mg/L ในฤดูฝน 5.4 mg/L ในฤดูหนาว และ 6.6 mg/L ในฤดูร้อน ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหนองหลวงไม่ได้อยู่ในภาวะเสื่อมโทรมอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบ หากแต่มีลักษณะเป็นระบบที่มีความเครียดกระจายไม่สม่ำเสมอเป็นหย่อม ๆ (patchy stress system) หรือมีจุดวิกฤตเฉพาะที่ (hotspot) ซึ่งมีนัยสำคัญในเชิงนิเวศอย่างมาก เนื่องจากแม้ค่าเฉลี่ยทั้งระบบอาจดูไม่วิกฤต แต่สิ่งมีชีวิตในน้ำมักตอบสนองต่อภาวะต่ำสุดของออกซิเจนและภาระอินทรีย์สารเฉพาะจุดมากกว่า ตัวอย่างเช่น ค่า DO ต่ำกว่า 5 mg/L อาจเริ่มส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม และค่าที่ต่ำมากในบางจุดอาจสะท้อนภาวะเครียดฉับพลันในเชิงพื้นที่ได้ แม้ว่าค่าเฉลี่ยในฤดูหนาวจะดีขึ้นก็ตาม

เมื่อพิจารณาค่า DO ในฤดูฝนแม้จะต่ำที่สุด แต่ยังไม่ถือว่าผิดปกติ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวสอดคล้องกับกระบวนการชีวธรณีเคมี (biogeochemical processes) ของพื้นที่ชุ่มน้ำ เนื่องจากฤดูฝนเป็นช่วงที่ระบบรับภาระสารจากภายนอก (external loading) สูงสุด ทั้งสารอินทรีย์ ตะกอน และสารอาหารจากพื้นที่โดยรอบ เมื่ออินทรีย์วัตถุเข้าสู่ระบบมาก จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจะเร่งย่อยสลาย ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนอย่างเข้มข้น ส่งผลให้ค่า DO ลดลงได้ แม้ว่าปริมาณน้ำโดยรวมจะ

มากกว่าฤดูอื่นก็ตาม ความสัมพันธ์ลักษณะนี้ คือ ความเชื่อมโยงระหว่างค่า DO และ BOD (DO-BOD coupling) ซึ่ง Johnston (1991) และ Reddy and Gale (1994) อธิบายว่า พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถรับและเปลี่ยนแปลงอินทรีย์สารผ่านพืช ดิน ตะกอน และจุลินทรีย์ แต่ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับภาระสารที่ไหลเข้าสู่ระบบ และระยะเวลาที่ระบบใช้ในการเปลี่ยนแปลงรูปสารเหล่านั้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง หากภาระอินทรีย์สารสูงกว่าศักยภาพของระบบในการย่อยสลายและกักเก็บ การลดลงของค่า DO จะเป็นผลตอบสนองเชิงระบบ มากกว่าจะเป็นเพียงความผันผวนชั่วคราว

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงหรือพลวัตของออกซิเจน (oxygen dynamics) ยังเชื่อมโยงกับวัฏจักรไนโตรเจน (nitrogen cycle) โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO กระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์หรือไนเตรต (nitrification) และการสะสมของแอมโมเนีย (ammonia accumulation) ซึ่งผลการศึกษพบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) เฉลี่ยสูงสุดในฤดูฝนที่ $0.76 \pm 0.17 \text{ mg/L-NH}_3\text{-N}$ และยังคงอยู่ในระดับสูงในฤดูแล้งและฤดูร้อนที่ 0.61 ± 0.05 และ $0.60 \pm 0.09 \text{ mg/L-NH}_3\text{-N}$ ตามลำดับ อีกทั้งค่าต่ำสุดในหลายฤดูกาลยังสูงถึง $0.49 \text{ mg/L-NH}_3\text{-N}$ (เกณฑ์ $\leq 0.5 \text{ mg/L-NH}_3\text{-N}$) และค่าสูงสุดในฤดูฝนถึง $1.04 \text{ mg/L-NH}_3\text{-N}$ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ไม่ได้เป็นเพียงค่าที่สูงชั่วคราวในช่วงใดช่วงหนึ่ง แต่เป็นแรงกดดันที่คงอยู่อย่างต่อเนื่อง (persistent pressure) ของระบบ ในเชิงกลไก เมื่อค่า DO ลดลง กระบวนการ nitrification ซึ่งต้องใช้ ออกซิเจนจะถูกจำกัด ทำให้แอมโมเนียม (ammonium; NH_4^+) ที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียม (ammonification) ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรต (nitrate) ได้ไม่เต็มที่ ขณะเดียวกันการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนยังดำเนินต่อไป ส่งผลให้ไนโตรเจนในรูปรีดิวซ์ (reduced nitrogen) เช่น NH_3 , NH_4^+ มีแนวโน้มสะสมในระบบมากขึ้น กระบวนการนี้สอดคล้องกับกรอบการทำงานของพื้นที่ชุ่มน้ำที่ Johnston (1991) และ Verhoeven et al. (2006) อธิบายว่า เส้นแบ่งระหว่างสภาวะใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวกำหนดอย่างมากว่าระบบจะกำจัดไนโตรเจน หรือกลับทำให้เกิดการคงอยู่ของรูปไนโตรเจนบางชนิดมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ความเสี่ยงจากแอมโมเนียไม่ได้ขึ้นกับความเข้มข้นรวมเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับรูปแบบเคมีของแอมโมเนียด้วย กล่าวคือ ภายใต้ภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงและอุณหภูมิสูง สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระที่ไม่แตกตัว (unionized ammonia; NH_3) ซึ่งเป็นรูปที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากกว่า จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในหนองหลวงพบว่า ฤดูแล้งมี pH เฉลี่ยสูงถึง 8.89 ± 0.60 และบางจุดสูงถึง 9.58 ขณะที่ฤดูฝนมีอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงถึง $30.34 \pm 1.02 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงที่สุด ดังนั้น หากพิจารณาเฉพาะความเข้มข้นรวม อาจสรุปได้ว่าฤดูฝนมีความเสี่ยงที่สุด แต่หากพิจารณาร่วมกับ pH จะพบว่าฤดูแล้งก็อาจเป็นช่วงที่ความเป็นพิษเชิงสัดส่วนของ NH_3 สูงมากเช่นกัน กล่าวคือ ฤดูแล้งอาจเป็นช่วงของการผลิตและสะสมแอมโมเนีย ขณะที่ฤดูฝนอาจเป็นช่วงของการเพิ่มสัดส่วนของรูปพิษของแอมโมเนีย ซึ่งทำให้ความเสี่ยงเชิงนิเวศของ NH_3 ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำนี้มีลักษณะซับซ้อน และไม่ควรอธิบายด้วยค่าตัวเดียว

ในทางตรงกันข้าม ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) พบอยู่ในระดับค่อนข้างสม่ำเสมอทุกฤดูกาล โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.69 ± 0.56 , 1.32 ± 0.48 และ $1.63 \pm 0.42 \text{ mg/L-NO}_3^-\text{-N}$ ในฤดูฝน ฤดูแล้ง และฤดูร้อน ตามลำดับ แต่การที่ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ไม่สูง ไม่ได้หมายความว่าระบบไม่มีปัญหาไนโตรเจน ตรงกันข้าม อาจสะท้อนว่าระบบกำลังมีการใช้ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ อย่างรวดเร็วโดยผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ หรือมีการเปลี่ยน

รูปไนโตรเจนอย่างเข้มข้นในกระบวนการรีดอกซ์ของดินและตะกอน ซึ่งเป็นลักษณะปกติของพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีการหมุนเวียนไนโตรเจนภายในสูง กล่าวอีกนัยหนึ่ง การที่ NO_3^- -N ไม่สะสมในระดับสูง ไม่ได้หมายความว่าระบบมีการไนโตรเจนต่ำ หากแต่อาจสะท้อนว่าไนโตรเจนภายในระบบกำลังถูกเปลี่ยนรูป หมุนเวียน และถูกใช้ไปอย่างต่อเนื่องผ่านกระบวนการชีวธรณีเคมีต่าง ๆ จนไม่เกิดการสะสมเด่นชัดในรูป NO_3^- -N ภายในคอลัมน์น้ำ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (soluble reactive phosphorus; SRP) ยังแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมากขึ้น โดยปริมาณ SRP เฉลี่ยเพิ่มจาก $0.39 \pm 0.20 \text{ mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูฝน ไปสูงสุดที่ $0.93 \pm 0.36 \text{ mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูหนาว ก่อนลดลงเป็น $0.59 \pm 0.18 \text{ mg/L} \cdot \text{PO}_4^{3-}$ ในฤดูร้อน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบนี้มีนัยสำคัญทางนิเวศอย่างมาก เนื่องจากฤดูหนาวไม่ได้เป็นฤดูกาลที่ BOD สูงที่สุด หรือ DO ต่ำที่สุดในภาพรวม แต่กลับมี SRP สูงสุด ซึ่งอาจแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิด SRP ในฤดูหนาวอาจไม่ได้เกิดจากภาระอินทรีย์สารภายนอกเพียงอย่างเดียว แต่อาจเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยสารจากภายในระบบ (internal loading) มากขึ้น กล่าวคือ หลังจากฤดูฝนที่มีการนำเข้าสู่สารจำนวนมาก ฟอสฟอรัสบางส่วนอาจถูกสะสมในตะกอนดินหรือในชีวมวล และเมื่อระบบเข้าสู่ช่วงที่การไหลเวียนของมวลน้ำลดลง สารเหล่านี้อาจถูกหมุนเวียนกลับขึ้นสู่คอลัมน์น้ำมากขึ้น นอกจากนี้ การมี SRP สูงในน้ำที่มี pH สูงในฤดูหนาว ยังสะท้อนถึงระบบที่อยู่ในภาวะที่ฟอสฟอรัสพร้อมถูกใช้โดยแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญของภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) Verhoeven et al. (2006) ระบุชี้ว่า การสะสมธาตุอาหารในระยะยาวอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบนิเวศ และลดประสิทธิภาพในการคงบทบาทเป็นแหล่งกักเก็บธาตุอาหาร (nutrient sink) ของพื้นที่ชุ่มน้ำ ขณะที่ Zamani-Ahmadm Mahmoodi et al. (2025) ยังแสดงให้เห็นว่าภาวะยูโทรฟิเคชันของพื้นที่ชุ่มน้ำมักสัมพันธ์กับน้ำเสียชุมชน (sewage) น้ำไหลบ่าจากพื้นที่เกษตร (agricultural runoff) ของเสียจากการปศุสัตว์ (livestock waste) และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินรอบพื้นที่ชุ่มน้ำ

เมื่อพิจารณาผลทางอุทกวิทยา พลวัตของออกซิเจน และการหมุนเวียนธาตุอาหารร่วมกัน จะเห็นว่าหนองหลวงกำลังแสดงพฤติกรรมของระบบที่ค่อย ๆ เปลี่ยนจากการเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่หน้าทึบหลักคือการกักเก็บ (retention dominated wetland) ไปสู่พื้นที่ชุ่มน้ำที่หน้าทึบเด่น คือ การหมุนเวียนสารกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบ (recycling dominated wetland) มากขึ้น กล่าวคือ ในระยะหนึ่งพื้นที่ชุ่มน้ำยังคงทำหน้าที่กักเก็บตะกอนและธาตุอาหารได้ แต่เมื่อภาระสะสมเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาพักน้ำยาวขึ้นในฤดูกาลที่การไหลเวียนต่ำ ระบบจะเริ่มมีบทบาทในการหมุนเวียนสารกลับขึ้นสู่คอลัมน์น้ำมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการลดลงของ Secchi depth ร่วมกับการเพิ่มขึ้นของ SRP ในฤดูหนาว และการที่ค่า NH_3 -N เกินเกณฑ์อย่างต่อเนื่องในทุกฤดูกาล ซึ่งอาจสะท้อนว่าระบบกำลังมีการสะสมและหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ภายในมากขึ้น

ผลการศึกษาครั้งนี้ยังอาจสะท้อนถึงแรงขับจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic forcing) โดยรอบพื้นที่ชุ่มน้ำ จากรายงานของ Atugonza et al. (2025) พบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคการเกษตรมีแนวโน้มแสดงค่า DO ต่ำ BOD สูง และมีการปนเปื้อนธาตุอาหารสูง ขณะที่ Haidary et al. (2013) รายงานว่า พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีสัดส่วนของพื้นที่เมือง (urban land) สูง มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า TDS, EC, NH_4^+ , ไนโตรเจนรวม (Total

nitrogen; TN) และไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved organic nitrogen; DON) โดยพื้นที่ป่าโดยรอบพื้นที่ชุ่มน้ำสามารถช่วยลดภาระดังกล่าวได้ นอกจากนี้ Byekwaso et al. (2026) อธิบายว่า เมื่อพื้นที่ชุ่มน้ำรับน้ำไหลป่าจากฝน (stormwater) และน้ำเสีย (wastewater) เกินขีดความสามารถในการบำบัดตามธรรมชาติ ระบบจะเกิดการสะสมสารมลพิษอย่างต่อเนื่องและสูญเสียประสิทธิภาพในการลดภาระมลพิษปลายน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง แม้ว่าพื้นที่นี้อาจยังไม่ถึงระดับวิกฤตแบบพื้นที่ชุ่มน้ำเมืองที่รับน้ำเสียโดยตรง แต่รูปแบบของ DO ต่ำ $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงต่อเนื่อง SRP สูงในบางฤดูกาล และ Secchi depth ลดลง ล้วนสะท้อนถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระบบที่คล้ายกันในเชิงกลไก กล่าวคือ ระบบกำลังถูกกดดันมากขึ้นจากภาระสารที่อาจเชื่อมโยงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและกิจกรรมของมนุษย์ในลุ่มน้ำรอบพื้นที่

ผลการศึกษานี้ควรพิจารณาพร้อมกับกรอบของเสถียรภาพเชิงนิเวศ (ecological stability) มากกว่าพิจารณาเพียงการผ่านหรือไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากระบบนิเวศน้ำอาจดูเหมือนยังไม่วิกฤตเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์บางตัว แต่ในความเป็นจริงระบบอาจกำลังสูญเสียความยืดหยุ่นเชิงหน้าที่อยู่ การที่ค่า DO ดีขึ้นในฤดูหนาวไม่ได้หมายความว่าระบบฟื้นตัวสมบูรณ์ เนื่องจากในฤดูกาลเดียวกันนี้ ค่า pH และ SRP กลับสูงขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ $\text{NH}_3\text{-N}$ ยังคงเกินเกณฑ์ในหลายจุดเก็บตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าระบบอาจไม่ได้กำลังกลับสู่สมดุลเดิม แต่กำลังเปลี่ยนรูปของความเสถียรไปตามฤดูกาล โดยฤดูฝนมีความเด่นด้านความเครียดจากออกซิเจนต่ำ (oxygen stress) และการสะสมของแอมโมเนีย ฤดูหนาวมีความเด่นด้านสภาพเป็นด่าง pH และการพร้อมใช้ของฟอสฟอรัส (phosphorus availability) ส่วนฤดูร้อนมีความเด่นด้าน Secchi depth ต่ำ และการคงอยู่ของ reduced nitrogen ในหลายจุดเก็บตัวอย่าง กล่าวอีกนัยหนึ่ง ความเสี่ยงในระบบนี้ไม่ได้หายไปตามฤดูกาล แต่เปลี่ยนองค์ประกอบของความเสถียรไปในแต่ละช่วงเวลา

ข้อมูลจากผลการศึกษาในภาพรวมสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดสถานะเสถียรทางเลือก (alternative stable states) หรือการเปลี่ยนผ่านเชิงระบอบของระบบ (regime shift) กล่าวคือระบบพื้นที่ชุ่มน้ำหนึ่งระบบอาจไม่ได้มีเพียงสภาพเดียวที่คงอยู่ได้อย่างเสถียร แต่สามารถคงอยู่ได้มากกว่าหนึ่งสภาวะ เช่น สภาวะน้ำใส ซึ่งระบบยังสามารถกักเก็บธาตุอาหารและรักษาคุณภาพน้ำได้ดี กับสภาวะน้ำขุ่น ซึ่งการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ภายในระบบเริ่มมีบทบาทเด่นมากขึ้น ทั้งนี้ Verhoeven et al. (2006) อธิบายว่า การรับธาตุอาหารอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำค่อย ๆ เปลี่ยนจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่ง และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจนำไปสู่การเปลี่ยนโครงสร้างของพืชพรรณและพลวัตของระบบในระยะยาว สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง ข้อมูลยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าระบบได้ข้ามจุดวิกฤต (threshold) ไปแล้วอย่างสมบูรณ์ แต่มีสัญญาณค่อนข้างชัดว่าระบบกำลังอยู่ในภาวะเปลี่ยนผ่าน ได้แก่ การลดลงอย่างต่อเนื่องของ Secchi depth การคงอยู่ของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในระดับสูงต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของ SRP อย่างเด่นชัดในฤดูหนาว และการพบค่า DO ต่ำในหลายจุดเก็บตัวอย่างของฤดูฝน รวมถึงบางจุดในฤดูกาลอื่น ลักษณะเหล่านี้สะท้อนว่า หนองหลวงอาจไม่ได้ทำหน้าที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่ช่วยกักเก็บและควบคุมธาตุอาหารได้ดีเหมือนเดิมอีกต่อไป แต่กำลังเริ่มเปลี่ยนไปสู่สภาวะที่สารและธาตุอาหารซึ่งเคยสะสมอยู่ภายในระบบถูกปลดปล่อยกลับขึ้นสู่คอลัมน์น้ำมากขึ้น และยิ่งกระตุ้นกระบวนการภายในที่ซ้ำเติมความไม่เสถียรของระบบต่อไป

เมื่อพิจารณาในเชิงกลไกอย่างเป็นระบบ พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงอาจกำลังแสดงวงจรป้อนกลับ (feedback loop) ที่มีความหมายต่อการเสื่อมโทรมของระบบนิเวศในระยะยาว กล่าวคือ การรับสารอาหารและอินทรีย์สารจากภายนอกจะเพิ่มการผลิตและการสะสมมวลชีวภาพ ซึ่งกระตุ้นการย่อยสลาย เพิ่ม BOD ลด DO และจำกัดกระบวนการ nitrification ส่งผลให้ reduced nitrogen โดยเฉพาะ $\text{NH}_3\text{-N}$ มีแนวโน้มคงอยู่มากขึ้น ขณะเดียวกัน ฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ภายในระบบอาจถูกหมุนเวียนกลับขึ้นสู่คอลัมน์น้ำในช่วงที่การไหลเวียนต่ำ กระบวนการเหล่านี้ร่วมกันทำให้ระบบค่อย ๆ ลดความสามารถในการคงสภาพน้ำใส เนื่องจากการสะสมของธาตุอาหารและอินทรีย์สารจะเพิ่มทั้งอนุภาคแขวนลอยและมวลชีวภาพในคอลัมน์น้ำ ส่งผลให้ความโปร่งใสของน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากค่า Secchi depth ที่ลดลงจากฤดูฝนสู่ฤดูร้อน เมื่อความโปร่งใสของน้ำลดลง ระบบจะยิ่งเอื้อต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารภายใน การย่อยสลาย และการคงอยู่ของสารในรูปที่พร้อมก่อให้เกิดความขุ่น หรือกระตุ้นการผลิตชีวมวลเพิ่มเติม ทำให้สภาวะน้ำใสค่อย ๆ สูญเสียเสถียรภาพไป ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่า SRP สูงขึ้นอย่างเด่นชัดในฤดูหนาว ขณะที่ $\text{NH}_3\text{-N}$ ยังคงอยู่ในระดับสูงในทุกฤดูกาล ซึ่งล้วนสะท้อนว่าระบบกำลังค่อย ๆ สูญเสียความสามารถในการรักษาสภาพน้ำใสไว้ และกำลังนำไปสู่เงื่อนไขที่เอื้อต่อการเกิดภาวะยูโทรฟิเคชันในระยะยาวมากขึ้น

ดังนั้น ผลการศึกษานี้ไม่ได้แสดงเพียงว่าคุณภาพน้ำของหนองหลวงเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล แต่ยังแสดงให้เห็นว่าระบบกำลังอยู่ในช่วงเปราะบางทางนิเวศวิทยา โดยฤดูฝนเป็นช่วงของการรับภาระสารและการพร่องออกซิเจนอย่างชัดเจน ฤดูหนาวเป็นช่วงที่ SRP และ pH สูง ซึ่งเพิ่มโอกาสให้ความเสี่ยงของภาวะยูโทรฟิเคชันและความเป็นพิษจากแอมโมเนีย (ammonia toxicity) เปลี่ยนรูปไป ส่วนฤดูร้อนเป็นช่วงที่มี Secchi depth ต่ำที่สุด ซึ่งสะท้อนการสะสมหรือการคงอยู่ของอนุภาคและธาตุอาหารในระบบ เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งสามฤดูกาล หนองหลวงยังคงเป็นระบบที่มีศักยภาพในการฟื้นตัว แต่กำลังสูญเสียความยืดหยุ่นเชิงหน้าที่อย่างต่อเนื่อง และหากแรงกดดันจากภายนอกยังคงดำเนินต่อไปโดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ระบบมีแนวโน้มสูงที่จะนำไปสู่เงื่อนไขของสภาวะยูโทรฟิเคชันและฟื้นตัวกลับได้ยากในอนาคต

ผลการประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธี AARL-PP Score เมื่อพิจารณาร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี แสดงให้เห็นความสอดคล้องอย่างชัดเจนระหว่าง “โครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืช” กับ “สภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ” ในแต่ละฤดูกาล ซึ่งสะท้อนพลวัตของระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงได้อย่างเป็นรูปธรรม ในฤดูฝน ค่า AARL-PP Score เฉลี่ยเท่ากับ 7.00 จัดอยู่ในระดับ meso-eutrophic บ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี สอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้า ($132.28 \mu\text{S/cm}$) และปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS ประมาณ 120 mg/L) ที่ค่อนข้างสูง รวมถึงความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูป $\text{NO}_3\text{-N}$ (1.69 mg/L) และ $\text{NH}_3\text{-N}$ (0.76 mg/L) ที่สูงกว่าฤดูกาลอื่น บ่งชี้ว่าช่วงฝนตกมีการพัดพาสารอาหารจากพื้นที่โดยรอบเข้าสู่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการเจริญของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะกลุ่ม Euglenophyta เช่น *Trachelomonas* และไซยาโนแบคทีเรีย เช่น *Planktolyngbya* ซึ่งมักพบในแหล่งน้ำที่มีอินทรีย์วัตถุสะสมสูง (Palmer, 1969) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีสารอาหารในปริมาณสูง แต่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่อนข้างต่ำ (เฉลี่ย 3.02 mg/L) และค่า BOD สูงในบางพื้นที่ (สูงสุด 7.20 mg/L) บ่งชี้ถึงการย่อยสลาย

อินทรีย์วัตถุอย่างเข้มข้น ซึ่งอาจจำกัดการเจริญของแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่ม และทำให้คุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงเสื่อมโทรม สอดคล้องกับ Wetzel (2001) ที่อธิบายว่า การเพิ่มขึ้นของสารอาหารและอินทรีย์วัตถุจะกระตุ้นให้เกิดภาวะยูโทรฟิเคชัน และส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำลดลง ในฤดูหนาว ค่า AARL-PP Score ต่ำสุด (4.50) จัดอยู่ในระดับ mesotrophic สะท้อนถึงคุณภาพน้ำปานกลางซึ่งเป็นระดับที่ดีที่สุดในช่วงการศึกษา สอดคล้องกับอุณหภูมิน้ำที่ลดลง (25.55°C) ซึ่งช่วยเพิ่มการละลายของออกซิเจน ทำให้ค่า DO สูงขึ้น (5.30 mg/L) ขณะเดียวกัน ค่า pH อยู่ในช่วงต่ำเล็กน้อย (เฉลี่ย 8.89) และค่าความเป็นด่าง ($39.50\text{ mg/L as CaCO}_3$) อยู่ในระดับเหมาะสมต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช แม้ว่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (SRP) จะมีค่าสูง (0.93 mg/L) แต่การที่ไนโตรเจนลดลง ($\text{NO}_3^- - \text{N} = 1.32\text{ mg/L}$) ร่วมกับความโปร่งใสของน้ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสมดุลของสารอาหารที่เหมาะสม ส่งผลให้พบจำนวนชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชสูงสุดในฤดูกาลนี้ นอกจากนี้ การพบสกุลเด่น เช่น *Dinobryon* และ *Staurostrum* ซึ่งสัมพันธ์กับน้ำคุณภาพดี ร่วมกับ *Ceratium* และ *Botryococcus* ที่บ่งชี้สภาพน้ำปานกลาง ยิ่งสะท้อนให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมที่มีความสมดุลและแตกต่างจากฤดูฝนอย่างชัดเจน ในฤดูร้อน ค่า AARL-PP Score สูงสุด (8.00) จัดอยู่ในระดับ eutrophic สะท้อนถึงคุณภาพน้ำไม่ดี สอดคล้องกับค่าความเป็นด่างที่ลดลงมาก ($4.50\text{ mg/L as CaCO}_3$) และค่า pH ที่เป็นกรดเล็กน้อย (6.67) แสดงถึงความสามารถในการบัฟเฟอร์ของน้ำที่ลดลง ร่วมกับอุณหภูมิที่สูง (27.13°C) และความลึกที่แสงส่องถึงต่ำ (0.45 m) ทำให้สภาพแวดล้อมเอื้อต่อการเจริญของไซยาโนแบคทีเรีย โดยเฉพาะ *Dolichospermum planctonicum* ซึ่งเป็นชนิดเด่นในฤดูกาลนี้ การเพิ่มขึ้นของกลุ่มนี้สัมพันธ์กับระดับฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำที่ยังคงค่อนข้างสูง (0.59 mg/L) และไนเตรตไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($\text{NO}_3^- - \text{N} = 1.63\text{ mg/L}$) ขณะที่ค่า DO แม้อยู่ในระดับปานกลาง (4.82 mg/L) แต่มีความแปรผันสูง สะท้อนถึงความไม่เสถียรของระบบนิเวศ ทั้งนี้สอดคล้องกับ Paerl & Otten (2013) ที่ระบุว่าอุณหภูมิสูงร่วมกับสารอาหารสูงเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นการเพิ่มจำนวนของไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำจืด

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เมื่อพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบของแพลงก์ตอนพืชเด่นในแต่ละฤดูกาล สามารถอธิบายพลวัตของชีวมวลและโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าค่าคลอโรฟิลล์-เอ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับลักษณะทางนิเวศของชนิดเด่นในแต่ละช่วงเวลา ในฤดูฝน ค่าคลอโรฟิลล์-เอ เฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ($2.27\text{ }\mu\text{g/L}$) แม้ว่าจะพบความหลากหลายของชนิดสูง โดยพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มยูกลีโนยด์ เช่น *Trachelomonas volvocinopsis* ร่วมกับไดโนแฟลเจลเลต (*Peridinium* sp.) และไซยาโนแบคทีเรีย (*Planktolyngbya limnetica*) ลักษณะนี้อาจอธิบายได้จากความสามารถของแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่มในการดำรงชีวิตแบบผสม (mixotrophic) จึงไม่จำเป็นต้องมีคลอโรฟิลล์ในปริมาณสูงเพื่ออยู่รอด โดยเฉพาะกลุ่ม Euglenophyta ที่สามารถสลับระหว่างการสังเคราะห์แสงและการใช้สารอินทรีย์เป็นพลังงานได้ (Reynolds, 2006) นอกจากนี้ ความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมในฤดูฝนยังช่วยเพิ่มความหลากหลายของชนิด แต่ไม่ได้ทำให้ชีวมวลรวมสูง (Sommer et al., 1986) ในฤดูหนาว ค่าคลอโรฟิลล์-เอเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($2.39\text{ }\mu\text{g/L}$) และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยพบว่าชนิด

เด่นเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง เช่น *Dinobryon divergens* และ *Botryococcus braunii* ซึ่งสามารถสร้างชีวมวลได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีเสถียรภาพ โดยเฉพาะ *Dinobryon* ที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งจากการสังเคราะห์แสงและการกินอาหาร แม้จะมีคลอโรฟิลล์ไม่สูงมาก เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นโคโลนีที่มีเยื่อหุ้ม ทำให้จำนวนเซลล์จริงต่อมวลชีวภาพไม่สูง (Panich-Pat, 2009) แนวโน้มนี้สะท้อนถึงการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชที่สมดุลมากขึ้น และการเพิ่มบทบาทของผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wetzel (2001) และ Padisák et al. (2009)

ในฤดูร้อน ค่าคลอโรฟิลล์-เอเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ($6.05 \mu\text{g/L}$) โดยเฉพาะในบางจุดที่มีค่าสูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มจำนวนของไซยาโนแบคทีเรีย *Dolichospermum planctonicum* ที่สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและสะสมคลอโรฟิลล์ในปริมาณสูง การเพิ่มขึ้นของชีวมวลในลักษณะนี้สะท้อนถึงการเกิดปรากฏการณ์ algal bloom ในระดับพื้นที่ ซึ่งมักเกิดในสภาพแวดล้อมที่มีสารอาหารสูง อุณหภูมิสูง และน้ำค่อนข้างนิ่ง (Søndergaard et al., 2011) นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์-เอกับชีวมวลของแพลงก์ตอนพืชยังได้รับการสนับสนุนจากหลายการศึกษา โดย Carlson (1977) ได้พัฒนาดัชนีสถานะโภชนะ (Trophic State Index; TSI) โดยใช้คลอโรฟิลล์-เอเป็นตัวชี้วัด และพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Peerapornpisal et al. (2007) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของไซยาโนแบคทีเรียสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์-เอและระดับสารอาหารในแหล่งน้ำ

โดยภาพรวม พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงมีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในระดับค่อนข้างสูง และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างเด่นชัด ซึ่งสะท้อนถึงระบบนิเวศที่ยังคงมีพลวัตตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของกลุ่ม Euglenophyta และ Cyanobacteria ในบางช่วงเวลา อาจเป็นสัญญาณของการสะสมสารอาหารและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ จึงควรมีการติดตามอย่างต่อเนื่องเพื่อสนับสนุนการจัดการและการอนุรักษ์ระบบนิเวศให้มีความสมดุลและยั่งยืนต่อไป

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกพร้อมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูฝนมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($p < 0.01$) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูหนาวมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ น้ำ และค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($p < 0.01$) และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าไนโตรเจนไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์-เอมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และช่วงเวลา (Back et al., 2015; Yu et al 2024) เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำและความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำนาฟ (Naf River estuary) ประเทศบังกลาเทศ มีผลต่อความชุกของแพลงก์ตอนพืชโดยร้อยละ 50 ตอบสนองในเชิงบวกต่ออุณหภูมิ (Sarker et al. , 2023) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำโดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลพบว่า สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลอธิบายความแปรปรวนระหว่างปริมาณ

คลอโรฟิลล์-เอ และคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมีในทั้ง 3 ฤดู ได้มากกว่าร้อยละ 80 อาจเป็นเพราะปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งด้านกายภาพและเคมี เช่น ค่าการนำไฟฟ้า เป็นตัวทำนายการเกิดแพลงก์ตอนพืชได้อย่างถูกต้อง แต่ควรเพิ่มขนาดตัวอย่างให้เพิ่มขึ้นเพื่อให้ค่าความถูกต้องที่ดีขึ้น (Costa et al., 2023)

จากผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยโลจิสติกร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมพบว่า ไม่มีตัวแปรสิ่งแวดล้อมทั้งด้านกายภาพและเคมีที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ อาจเป็นเพราะจุดเก็บตัวอย่างเพียง 10 จุด และการเลือกตัวแปรอิสระน้อย (โดยการศึกษาครั้งนี้เลือกตัวแปรอิสระตามการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) (Moëzzi, 2020; Yun, 2021) ถึงแม้ว่าค่า AUC ของทั้ง 3 ฤดูกาล อยู่ในช่วง 0.75-0.88 ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำแนกข้อมูลได้ดี แต่การกำหนดค่า Threshold ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ให้มีค่าเท่ากับ $2 \mu\text{g/L}$ (น้อยกว่า 2 คือ เกิดการสะสมของแพลงก์ตอนพืช และ มากกว่า 2 คือ เกิดการสะสมของแพลงก์ตอนพืช) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในทั้ง 3 ฤดูกาล อาจส่งผลต่อการทำนาย ดังนั้นควรแบ่งระดับคลอโรฟิลล์-เอ ที่ได้จากข้อมูลภาคสนามตามควอนไทล์ (quantiles) (Moëzzi, 2020) หรือ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) (King et al., 2022) อย่างไรก็ตาม ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกพบว่า การใช้แบนด์ 2, แบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ของดาวเทียม MODIS ระบบ Terra สามารถทำนายโอกาสการสะสมของแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ฤดูกาล ได้ ทั้ง ๆ ที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ซึ่งอาจเป็นเพราะแบนด์ดังกล่าวสามารถใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อประมาณค่าเชิงพื้นที่ของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวงได้ อย่างไรก็ตาม ควรเพิ่มจุดเก็บตัวอย่าง หรือเพิ่มความถี่ในการเก็บตัวอย่าง (Sarker et al., Asres et al., 2025) และใช้แบนด์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแพลงก์ตอนพืช เช่น แบนด์ 9 (438 – 448 nm), แบนด์ 10 (483 – 493 nm), แบนด์ 13 (526 – 536 nm) และแบนด์ 14 (673 – 683 nm) ของดาวเทียม MODIS (Intacharoen et al., 2018; Moëzzi, 2020) หรือใช้ดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง เช่น ดาวเทียม Sentinel-2 (King et al., 2022) และดาวเทียม Sentinel-3 ร่วมกับอัลกอริทึม (Algorithm) เช่น K-means clustering (Jia et al., 2024) เนื่องจากหนองหลวงเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดเล็ก และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบพื้นที่ซึ่งถ้าใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำจะทำให้ค่าการสะท้อนแสงของแพลงก์ตอนพืชผิดเพี้ยน และอาจอธิบายได้ว่าแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกโดยใช้ช่วงคลื่นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ให้ค่า pseudo- R^2 ต่ำ (7.40–44.59%) และความถูกต้องในการจำแนกต่ำ (0.25–0.50) ทำให้การทำนายการสะสมของแพลงก์ตอนพืชมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกโดยใช้ดาวเทียม Landsat สำหรับทำนายจำนวนเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียในทะเลสาบแดซอง (Daechong Lake) (Back et al., 2015) หรือการจำแนกประเภทระดับการสะสมของสาหร่ายในทะเลสาบหงเจ้อ (Hongze Lake) โดยใช้ดาวเทียม CYGNSS และ Sentinel-3 ร่วมกับอัลกอริทึม K-means clustering (Jia et al., 2024)

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2560). *มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2563). LU_CRI_2563. (Shapefile). กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมอนามัย. (2537). *คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี*. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.
- กองจัดการคุณภาพน้ำ. (2566). (ร่าง) *คู่มือการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตเพื่อติดตามตรวจสอบความสมบูรณ์ของระบบนิเวศลุ่มน้ำ*. สืบค้นเมื่อ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2567, จาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2022/12/pcdnew-2022-12-23_07-55-42_430664.pdf
- กิตติศักดิ์ เพ็ชรพันธุ์ และจิราพร ออนมันคง. (2567). การประเมินค่าคลอโรฟิลล์ของใบปาล์มน้ำมันโดยใช้ค่าสีร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาการเปรียบเทียบระบบสี. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 30(1), 55-62.
- กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์, นิติ เอี่ยมชื่น, ดุจดดี ปานพรหมมินทร์ และศิริลักษณ์ ต้นเจริญ. (2563). คุณภาพน้ำและการประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์โดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ เป็นดัชนีชี้วัด: กรณีศึกษาแม่น้ำอิงตอนบนและตอนกลาง. *แก่นเกษตร*, (48), 271-282.
- กัญญาณัฐ สุนทรประสิทธิ์ และลลิตา ช่างบุญ. (2560). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคุณภาพน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองเล็งทราย จังหวัดพะเยา. ใน นิรันดร์ ภาชนะทิพย์ (บ.ก.), *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 55 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. (น. 713-720). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2552). *สถิติสำหรับงานวิจัย* (พิมพ์ครั้งที่ 4). ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรรย์ธร บุญยานุภาพ. (2557). *หลักการรับรู้จากระยะไกลด้านนิเวศวิทยาพืชพรรณและการอนุรักษ์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). โอเดียนสโตร์.
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2558). *จากต้นน้ำถึงปากแม่น้ำบพาททางนิเวศอุทกวิทยาและการจัดการเชิงอนุรักษ์*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดอกรัก มารอด. (2550). *การวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลาย* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทัตพร คุณประดิษฐ์. (2543). *ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายขนาดใหญ่ในลำน้ำแม่สา อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. ฐานข้อมูลสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุมิศักดิ์. (2540). *คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย*. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

- ธนิตรา อินทโสทธิ. (2549). *ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่และไดอะตอมพื้นท้องน้ำในบริเวณลุ่มน้ำคำ จังหวัดเชียงราย*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธนัชฐา มาลัยวรรณ. (2553). *ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล ประเทศไทยและอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำจี้มประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. ฐานข้อมูลงานวิจัย (ThaiLis).
- นันทนา คชเสนี. (2544). *คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจมาภรณ์ รุจิตร. (2556). *แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายยืดยาวในน้ำและการประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามคุณภาพน้ำ*. [รายงานการวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี]. ฐานข้อมูลงานวิจัย (ThaiLis).
- ประเสริฐ ไวยะกา. (2555). *แพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหลวง*. สถาบันความหลากหลายทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาท้องถิ่นและอาเซียน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- ปริญญา มูลสิน. (2555). *ความหลากหลายของไดอะตอมพื้นท้องน้ำและสาหร่ายขนาดใหญ่และคุณภาพน้ำในแม่น้ำโขงส่วนที่ไหลผ่านจังหวัดอุบลราชธานี*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี]. ฐานข้อมูลงานวิจัย (ThaiLis).
- ภูภัส ทองจับ, & ธงทิศ ฉายากุล. (2566). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอบีบริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28* (The 28th National Convention on Civil Engineering). ภูเก็ต, ประเทศไทย.
- มีโชค เหลี่ยมมา, วสันต์ มะโนเรือง, กฤษณ์พงศ์ ภาษิตวิไลธรรม, & ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์. (2566). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำด้านกายภาพและด้านเคมีบางประการในอ่างเก็บน้ำหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย. ใน *การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 10* (หน้า 22-32). โรงแรมดิเอ็มเมอรัลด์ กรุงเทพมหานคร
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). *สาหร่ายวิทยา*. โชตนาพรินต์.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). *สาหร่ายวิทยา* (พิมพ์ครั้งที่ 3). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2556). *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย*. โชตนาพรินต์.
- ยุวดี พิรพรพิศาล และชิตชล ผลารักษ์. (2547). *การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ: คู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ*. องค์การแพลนอินเตอร์เนชั่นแนลร่วมกับภาควิชาชีววิทยาและสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รุ่งรวิน อนุรักษภราดร, ซาลิดา อ่อนไสว, ปกฉัตร ชุตติวิสุทธิ, จตุวัฒน์ แสงसानนท์, พรเทพ พรณรักษ์, ปวีณา ตบนิยรวรงค์ และวิไลลักษณ์ นิยมมณีรัตน์. (2565). แพลงก์ตอน รากฐานของสายใยอาหารในระบบนิเวศแหล่งน้ำ. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 26(1), 1-8.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). *แพลงก์ตอนพืช*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

- ลานทอง อธิสุทธิ. (2549). *ความหลากหลาย การกระจายในแนวตั้งและนิเวศวิทยาเชิงประชากรของ แพลงก์ตอน เพื่อการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- วิจิตร รัตนพานิช, สายสุนีย์ เหลียวเรืองรัตน์ และเสาวณีย์ รัตนพานิช. (2533). *การศึกษาและวิเคราะห์ คุณภาพของน้ำจากแหล่งน้ำแม่ปิง*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิทยา มาสะ. (2558). *การจัดการความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์น้ำในหนองหลวงภายใต้ภูมิ สังคมชุมชนสมานมิตร ตำบลคอนศิลา อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้]. http://mdc.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/thesis/2560/wittaya_masa/fulltext.pdf
- วิรัตน์ สนิทมาจโร. (2562). *คุณภาพน้ำและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับข้อมูล MODIS ในน่านน้ำไทย*. กลุ่มควบคุมเรือประมงและการทำประมงในทะเล กองบริหารจัดการเรือประมงและการทำประมง กรมประมง.
- สรนัตร์ เทียมดาว และยุวดี พิรพรพิศาล. (2552). ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดกินได้ในแม่น้ำโขงและแม่น้ำน่าน. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, 3(1), 115-124.
- สวัสด์ชัย ศรีพนมธนากร. (2548). *การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก*. <http://www.saruthipong.com/port/document/299-705/299-705-7.pdf>.
- สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์. (2551). *เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ*. <http://www2.feu.ac.th/admin/pr/newscontrol/atts/D20080514105343.pdf>.
- ศรีสมร สิทธิกาญจนกุล. (2560). *ความขุ่นของน้ำ*. <https://tarr.arda.or.th/preview/item/h1-2-PNrTLqEM0pQ4Yrft?keyword>.
- อนุชา เพียรชนะ, นันทพร มณีรัตน์, จุฑารัตน์ ไชยสนาม และอรพรรณ วงศรีแก้ว. (2555). การใช้ แพลงก์ตอนชนิดเด่นในการชี้วัดคุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำมูลตอนล่าง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50*. (หน้า 457-464). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Asres, B.W., Kebedew, M.G., Nerae, M.D., Tsegaye, S., & Zimale, F.A. (2025). Remote sensing-based estimation of chlorophyll-a concentrations in a water hyacinth-infested tropical headwaters lake: a study of Lake Tana, Ethiopia. *Frontiers in Water*, 7, 1600222.
- Atugonza, C., Mbabazize, D., Zebosi, B., Abuni, D.I., & Nyamaizi, S. (2025). Impact of agricultural land use practices on water quality in Lubigi wetland. *Journal of Water*, 1(4), 1–22. <https://doi.org/10.14302/issn.2769-2264.jw-25-5578>
- Back, S., Park, J., & Park, J. (2015). Modeling for estimation of algal bloom in Daechong Lake using satellite imagery. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Environmental Engineering and Remote Sensing, Phuket, Thailand, 23–24 August 2015* (pp. 101–105). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/eers-15.2015.25>

- Brinson, M.M. (1988). Strategies for assessing the cumulative effects of wetland alteration on water quality. *Environmental Management*, 12(5), 655–662. <https://doi.org/10.1007/BF01867543>
- Byekwaso, F., Langergraber, G., Weigelhofer, G., Kaggwa, R., Kansiime, F., & Hein, T. (2026). Anthropogenic and natural factors impacting microbiological and physicochemical surface water quality along an urban tropical wetland. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 16(2), 108–123. <https://doi.org/10.2166/washdev.2026.125>
- Câmara, F. R. A., Lima, A. K. A., Rocha, O., & Chellappa, N. T. (2009). The role of nutrient dynamics on the phytoplankton biomass (chlorophyll-a) of a reservoir-channel continuum in a semi-arid tropical region. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 21(4), 431–439.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369.
- Chapman, V.J., & Chapman, D.J. (1975). *The Algae*. The Macmillan Press.
- Costa, M.R.A., Cardoso, M.M.L., Selmeçzy, G.B., Padisák, J., & Becker, V. (2023). Phytoplankton functional responses induced by extreme hydrological events in tropical reservoir. *Hydrobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05241-3>
- Crawley, J.M. (2005). *Statistics: An introduction using R*. John Wiley & Sons.
- Gómez-Figueroa, J.A., Rendón-von Osten, J., Poot-Delgado, C.A., Dzul-Caamal, R., & Okolodkov, Y.B. (2023). Seasonal response of major phytoplankton groups to environmental variables along the Campeche Coast, Southern Gulf of Mexico. *Phycology*, 3(2), 270-279.
- Graham, E. L., & Wilcox, W.L. (2000). *Algae*. Printice-Hall.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., & Eaton, A.D. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (APHA).
- Guiry, M. D. (2024). How many species of algae are there? A reprise: Four kingdoms, 14 phyla, 63 classes and still growing. *Journal of Phycology*. <https://doi.org/10.1111/jpy.13431>
- Haidary, A., Amiri, B.J., Adamowski, J., Fohrer, N., & Nakane, K. (2013). Assessing the impacts of four land use types on the water quality of wetlands in Japan. *Water Resources Management*, 27, 2217–2229. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0284-5>
- Hegewald, E. (1978). Eine neue Unterteilung der Gattung Scenedesmus Meyen. *Nova Hedwigia*, 30, 343–376.

- Jia, Y., Xiao, Z., Yang, L., Liu, Q., Jin, S., Lv, Y., & Yan, Q. (2024). Enhancing algal bloom level monitoring with CYGNSS and Sentinel-3 data. *Remote Sensing*, 16, 3915.
- John, D.M., Brooks, A.J., & Whitton, B.A. (2011). *The Freshwater algae flora of the British Isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae* (2 nd ed). Cambridge University Press.
- Johnston, C.A. (1991). Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: Effects on surface water quality. *Critical Reviews in Environmental Control*, 21(5–6), 491–565. <https://doi.org/10.1080/10643389109388425>
- King, T., Hundt, S., Hafen, K., Stengel, V., & Ducar, S. (2022). Mapping the probability of freshwater algal blooms with various spectral indices and sources of training data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16(4), 044522.
- Kondowe, B.N., Masese, F.O., Raburu, P.O., Singini, W., Sitani, A., & Walumona, R.J. (2022). Seasonality in environmental conditions drive variation in plankton communities in a shallow tropical lake. *Frontiers in Water*, 4, 883767.
- Kuo, Y-M., Chen, Y-H., Chiu, Y-T., & Lin, T-F. (2025). Water quality and physicochemical conditions drive chlorophyll-a concentrations in two connected subtropical off-stream reservoirs. *Sustainable Environment Research*, 35(15). 1-18.
- Intacharoen, P., Dasananda, S., & Buranapratheprat, A. (2018). MODIS-based observation of sea-surface chlorophyll-a concentration over Upper Gulf of Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 25(1), 59-72.
- Li, Y., Meng, J., Zhang, C., Ji, S., Kong, Q., Wang, R., & Liu, J. (2020). Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. *PlosOne*, 15(4), e0231357.
- Lommetta, K., Sangsawangchot, S., Paewchum, S., & Potipat, J. (2025). Relationship of eutrophication, phytoplankton and water quality: Some generalities in Chanthaburi River, Thailand. *Science and Technology Research Journal Nakhon Ratchasima Rajabhat University*, 10(2), 63–77.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Science.
- Meesukko, C., Gajaseni, N., Peerapornpisal, Y. & Voinov, A. (2007). Relationships between seasonal variation and phytoplankton dynamics in Kaeng Krachan Reservoir, Phetchaburi province, Thailand. *The Natural History Journal of Chulalongkorn University*, 7(2), 131-143.
- Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., & Fegghi, J. (2020). Spatiotemporal prediction of chlorophyll-a concentration in the Caspian Sea using logistic regreesion and Markov chain. *Environmental Resources Research*, 8(2), 175-186.

- Nusch, E.A.E. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment. *Archiv für Hydrobiologie*, 14, 14-36.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2015, August 12). *Trophic classification of lakes*. <https://lakes.chebucto.org/SWCS/TPMODELS/OECD/trophic.html>
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995–1010.
- Padisák, J., Crossetti, L. O., & Naselli-Flores, L. (2009). Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621, 1–19.
- Palmer, C. M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *Journal of Phycology*, 5(1), 78–82. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1969.tb02581>
- Panich-Pat, T., Yenwaree, W., & Ongmali, R. (2009). Monitoring of water quality using phytoplankton, protozoa, and benthos as bioindicators in Chadeebucha Canal, Nakhon Pathom Province. *Journal of Environmental Research*, 31(2), 1–14.
- Peerapornpisal, Y., Pekkho, J., Powangprasit, D., Tonkamdee, T., Hongsirichat, A., & Kunpradid, T. (2007). Assessment of water quality in standing water by using dominant phytoplankton (AARL-PP Score). *Journal of Fisheries Technology Research*, 1, 71-81.
- Prasertsin, T., Yavichai, S., & Pingmano, C. (2018). Diversity of phytoplankton and water quality in Mae Suai Reservoir during the rainy season. *RMUTT Journal Science and Technology*, 8(1), 184–199.
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System*. <http://www.qgis.org/en/site/>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Reddy, K.R., & Gale, P.M. (1994). Wetland processes and water quality: A symposium overview. *Journal of Environmental Quality*, 23, 875–877. <https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300050003x>
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Sarker, S., Hossain, Md., Shahadat, Sonia, M.I., Huda, A.N.M.S., Riya, S.C., Das, N., Liyana, E., Basak, S.C., & Kabir, Md., A. (2023). Predicting the impacts of environmental variability on phytoplankton communities of a sub-tropical estuary. *Journal of Sea Research*, 194, 102404.

- Sommer, U., Gliwicz, Z. M., Lampert, W., & Duncan, A. (1986). The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, 106, 433–471.
- Søndergaard, M., Larsen, S. E., Jørgensen, T. B., & Jeppesen, E. (2011). Using chlorophyll a and cyanobacteria in the ecological classification of lakes. *Ecological Indicators*, 11, 1403–1412.
- Verhoeven, J.T.A., Arheimer, B., Yin, C., & Hefting, M.M. (2006). Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(2), 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.11.015>
- Yu, Z., Ouyang, Z., Zheng, C., Wang, Z., Fu, X., Cui, H., Huang, Y., Zhang, Z., & Xiang, C. (2024). Multivariate environmental factors and seasonal spatial dynamics affecting the phytoplankton community in Yazhou Bay, South China Sea. *Water*, 16, 3181.
- Yun, H. (2021). Prediction model of algal blooms using logistic regression and confusion matrix. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11(3), 2407–2413.
- Wetzel, R. E. (2001). *Limnology* (3rd ed.). Academic Press.
- Whigham, D.F., Chitterling, C., & Palmer, B. (1988). Impacts of freshwater wetlands on water quality: A landscape perspective. *Environmental Management*, 12(5), 663–671. <https://doi.org/10.1007/BF01867544>
- Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Bayati, S., Abdollahi, K., Mafi-Gholami, D., Joorabian Shooshtari, S., Gharahi, N., Raeisi-Bidekani, A., Rodríguez Martín, J.A., & Soleimanipour, S.S. (2025). Water quality and eutrophication status of the Zarivar Wetland (Iran). *Applied Water Science*, 15, Article 24. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02354-5>
- Zhang, M., Dong, J., Gao, Y., Liu, Y., Zhou, C., Meng, X., Li, X., Li, M., Wang, Y., Dai, D., & Lv, X. (2021). Patterns of phytoplankton community structure and diversity in aquaculture ponds, Henan, China. *Aquaculture*, 544, 737078.

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - สกุล นายกฤตวิษณุ สุขอึ้ง

วัน เดือน ปี เกิด 15 สิงหาคม 2523

ที่อยู่ปัจจุบัน

เลขที่ 311 หมู่ 2 ตำบล คำน้าแซบ

อำเภอ วารินชำราบ จังหวัด อุบลราชธานี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

มหาวิทยาลัยบูรพา

พ.ศ. 2549 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรชีวภาพ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2558 - ปัจจุบัน อาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - สกุล นางสาวทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์

วัน เดือน ปี เกิด 28 สิงหาคม 2525

ที่อยู่ปัจจุบัน

เลขที่ 146/6 ตำบล นางแล

อำเภอ เมืองเชียงราย จังหวัด เชียงราย

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (จุลชีววิทยาประยุกต์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2553	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2551	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยาประยุกต์) มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2557 - ปัจจุบัน	อาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
----------------------	--

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - สกุล นายกิตติชัย จันธิมา

วัน เดือน ปี เกิด 27 มกราคม 2529

ที่อยู่ปัจจุบัน

เลขที่ 146/5 หมู่ 1 ตำบล นางแล

อำเภอ เมืองเชียงราย จังหวัด เชียงราย

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ความหลากหลายทางชีวภาพ
และชีววิทยาชาติพันธุ์)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พ.ศ. 2552 วิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยม อันดับ 1 (สัตววิทยา)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2557 - ปัจจุบัน อาจารย์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย