

## อิทธิพลของคุณภาพน้ำต่อโครงสร้างและความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช ในแหล่งเลี้ยงหอยทะเล จังหวัดชลบุรี

### Influence of Water Quality on the Community Structure and Diversity of Phytoplankton in Shellfish Farming Areas, Chonburi Province, Thailand

ภัทราวุธ ไทยพิชิตบูรพา<sup>1\*</sup>, ธนพล ไชยพิพัฒน์ขจร<sup>1</sup>, เบญจวรรณ คชเสนี<sup>1</sup> และ ชลาทิพ จันทร์ชมภู<sup>2</sup>

Patrawut Thaipichitburapa<sup>1\*</sup>, Thanapon Chaipiputnakhajorn<sup>1</sup>,

Benjawan Khotchasanee<sup>1</sup> and Chalutip Junchompoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประเทศไทย

<sup>2</sup> สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 2 กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Thailand

<sup>2</sup> Marine and Coastal Resources Administration Office 2, Department of Marine and Coastal Resources, Thailand

Received: 6 February 2026, Received in revised form: 17 April 2026, Accepted: 18 April 2026

Available online: 11 May 2026

#### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์และที่มา:** จังหวัดชลบุรีเป็นพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงหอยทะเลซึ่งเป็นกิจกรรมประมงชายฝั่งที่สำคัญของภาคตะวันออก และมีบทบาทต่อรายได้ของชุมชนชายฝั่ง รวมถึงความมั่นคงทางอาหารของประเทศ ระบบเพาะเลี้ยงหอยทะเลในพื้นที่ดังกล่าวพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติเป็นหลัก โดยเฉพาะคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารตามธรรมชาติและเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญของระบบนิเวศชายฝั่ง องค์ประกอบชนิด ความหนาแน่น และความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำ เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม และสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะการสลับของชนิดที่มีศักยภาพก่อพิษ อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การสะสมสารพิษในหอยทะเล และความปลอดภัยด้านอาหารของผู้บริโภค การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพน้ำกับโครงสร้างและความหลากหลายของชุมชนแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเลจังหวัดชลบุรี รวมทั้งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบชนิดตามช่วงเวลา เพื่อสนับสนุนการเฝ้าระวังแพลงก์ตอนพืชที่มีศักยภาพก่อพิษ และเป็นข้อมูลประกอบการบริหารจัดการพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเลอย่างเหมาะสมและยั่งยืนในระยะยาว

**วิธีดำเนินการวิจัย:** การศึกษานี้สำรวจคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ใกล้เคียงพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเล จำนวน 15 สถานี ในช่วงเดือนธันวาคม 2567 ถึงสิงหาคม 2567 รวม 5 ช่วงเวลา โดยตรวจวัดความเค็ม อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง multiparameter เก็บตัวอย่างน้ำที่ความลึก 30 cm จำนวน 3 ซ้ำต่อสถานี ใส่ขวด HDPE และเก็บรักษาที่ 4 °C ก่อนนำส่งห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชั่วโมง ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์สารอาหาร

ถูกกรองผ่านแผ่นกรองใยแก้ว (GF/F) และเก็บที่ 4 °C ส่วนคลอโรฟิลล์เอเก็บที่ -20 °C จนกว่าจะวิเคราะห์ การศึกษา แพลงก์ตอนพืชเก็บตัวอย่างน้ำ 20 L กรองผ่านถุงขนาดตา 20 µm และรักษาสภาพด้วยฟอร์มาลิน 4 % จากนั้นจำแนกชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์ และประเมินความหนาแน่นด้วย Sedgewick–Rafter counting chamber ผลที่ได้นำไปคำนวณดัชนี ความหลากหลาย Shannon–Wiener (H') และ Pielou's evenness (J') ข้อมูลทั้งหมดจะนำวิเคราะห์ความแตกต่างด้วย One-way ANOVA และ Tukey's HSD และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Pearson's correlation และการถดถอย โดยประเมิน แบบจำลองจากค่า R<sup>2</sup> ด้วยโปรแกรม Minitab

**ผลการวิจัย:** คุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเลชายฝั่งจังหวัดชลบุรีมีความแปรผันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิ น้ำทะเลอยู่ในช่วง 29.2–31.3 °C และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานี ขณะที่ค่าความเค็ม ออกซิเจน ละลายน้ำ คลอโรฟิลล์-เอ และสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำแตกต่างกันตามช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฤดูฝนมีค่าความเค็มลดต่ำลงจากอิทธิพลของน้ำจืดจากแผ่นดิน ในขณะที่ฤดูแล้งความเค็มสูงและคงที่ซึ่งเหมาะต่อการ เพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เออยู่ในช่วง 4.4–14.4 µg L<sup>-1</sup> และมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง สะท้อนการเพิ่มขึ้นของชีวมวลแพลงก์ตอนพืช องค์ประกอบทางชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบประกอบด้วย 3 divisions ได้แก่ Cyanophyta Chlorophyta และ Chromophyta รวมทั้งสิ้น 68 สกุล โดยมี divisions Chromophyta เป็นกลุ่มเด่นตลอดการศึกษา และเกิดการสลับอย่างชัดเจนในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย 527,504 cells L<sup>-1</sup> และความหนาแน่น สูงสุดถึง 1,337,125 cells L<sup>-1</sup> ในขณะเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) มีความหนาแน่นลดลงอย่างมาก ดัชนีความหลากหลายของ แพลงก์ตอนพืช และดัชนีความสม่ำเสมอ มีค่าลดลงในช่วงที่เกิดการสลับของแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae (Diatom) และจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายฤดูฝนซึ่งมีโครงสร้างชุมชนที่หลากหลาย ในด้านความเสี่ยงทางนิเวศ พบแพลงก์ตอน พืชที่มีศักยภาพก่อพิษในกลุ่ม Dinophyceae โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ได้แก่ *Prorocentrum* spp. (6,500 cells L<sup>-1</sup>) และ *Gymnodinium* sp. (800 cells L<sup>-1</sup>) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และสมการถดถอยพหุคูณแสดงให้เห็นว่าความเค็ม อุณหภูมิ และสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชแต่ละกลุ่ม ซึ่งสะท้อนถึง ความเสี่ยงของการเกิดการสลับและแพลงก์ตอนพืชชนิดที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดพิษที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและ ความปลอดภัยของการเพาะเลี้ยงหอยทะเลในพื้นที่ศึกษา

**สรุปผลการวิจัย:** ผลการศึกษากาพรวมพบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม และสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ ที่กำหนดความหนาแน่น ความหลากหลาย และองค์ประกอบชนิดของแพลงก์ตอนพืช โดยในช่วงฤดูแล้งพบการสลับของ แพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae (diatom) ส่งผลให้ค่าความหลากหลายลดลง ขณะที่ฤดูฝนทำให้โครงสร้างชุมชน เปลี่ยนแปลงและพบแพลงก์ตอนพืชที่ทนต่อความเค็มต่ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังตรวจพบแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิด ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เช่น *Thalassiosira* sp. และ *Bellerophon* sp. รวมถึง กลุ่ม Dinophyceae (dinoflagellate) ที่มี ศักยภาพในการสร้างสารพิษ ได้แก่ *Prorocentrum* spp. และ *Gymnodinium* sp. โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง การเพิ่มจำนวน ของแพลงก์ตอนพืชกลุ่มดังกล่าวส่งผลกระทบต่อลดลงของออกซิเจนในน้ำและความเสี่ยงต่อการสะสมสารพิษในหอยทะเล ดังนั้น การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ควบคู่กับการจัดการปัจจัยด้าน

สารอาหารและสภาพแวดล้อม จึงมีความสำคัญต่อการลดความเสี่ยง สนับสนุนความปลอดภัยด้านอาหาร และการเพาะเลี้ยง  
หอยทะเลอย่างยั่งยืนในระยะยาว

**คำสำคัญ:** คุณภาพน้ำ; แพลงก์ตอนพืช; แหล่งเลี้ยงหอยทะเล; ชลบุรี

### Abstract

**Background and Objectives:** Chonburi Province is a key coastal area along the upper Gulf of Thailand with high economic and social importance, particularly for marine shellfish farming, which represents a major coastal fisheries activity in eastern Thailand. This activity plays an essential role in supporting coastal livelihoods and contributing to national food security. Shellfish farming systems in this region rely heavily on natural environmental conditions, especially water quality and phytoplankton communities, which function both as the primary food source for shellfish and as primary producers in coastal ecosystems. Phytoplankton species composition, abundance, and diversity are highly sensitive to variations in physical and chemical water parameters, including temperature, salinity, and dissolved inorganic nutrients. Alterations in phytoplankton community structure, particularly blooms of potentially harmful species, may negatively affect water quality, lead to toxin accumulation in shellfish, and pose risks to food safety. Therefore, understanding the interactions between water quality and phytoplankton dynamics is crucial for sustainable management of shellfish farming areas. This study aimed to assess the relationships between water quality parameters and the structure and diversity of phytoplankton communities in shellfish farming areas along the coast of Chonburi Province. Temporal variations in phytoplankton species composition were also examined to support monitoring of potentially harmful phytoplankton and to provide scientific information for effective and sustainable shellfish aquaculture management.

**Methodology:** Field surveys were conducted in coastal waters of Chonburi Province, Thailand, adjacent to shellfish farming areas. A total of 15 sampling stations were established in Mueang District, with sampling undertaken during five periods between December 2023 and August 2024 to capture seasonal variability. In situ measurements of temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), and pH were performed using a multiparameter probe. Surface water samples were collected at approximately 30 cm depth in triplicate at each station, stored in acid-cleaned HDPE bottles, and maintained at 4°C prior to laboratory analysis within 24 hr. Samples for dissolved inorganic nutrients were filtered through pre-combusted glass fiber filters (GF/F) and stored at 4°C, whereas chlorophyll-a samples were stored at -20°C until analysis. Phytoplankton samples were obtained by filtering 20 L of seawater through a 20-µm mesh plankton net and preserved with 4% formalin. Taxonomic identification was performed to the lowest possible level using light microscopy, and abundance was quantified with a Sedgewick–Rafter counting chamber.

Community structure was assessed using the Shannon–Wiener diversity index ( $H'$ ) and Pielou's evenness ( $J'$ ). Spatial and temporal variations were evaluated using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's HSD test. Relationships between environmental variables and phytoplankton assemblages were examined using Pearson's correlation and multiple linear regression, with model performance assessed by the coefficient of determination ( $R^2$ ). All statistical analyses were performed using Minitab Statistical Software.

**Main Results:** Water quality in shellfish farming areas along the coastal zone of Chonburi Province exhibited pronounced seasonal variability. Seawater temperature ranged from 29.2 to 31.3 °C and showed no significant spatial differences among stations, whereas salinity, dissolved oxygen (DO), chlorophyll-a, and dissolved inorganic nutrients varied significantly over time ( $p < 0.05$ ). Salinity decreased during the rainy season due to freshwater input, while higher and more stable salinity in the dry season favored phytoplankton growth. Chlorophyll-a concentrations ranged from 4.4 to 14.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , with peak values observed during the dry season, indicating elevated phytoplankton biomass. Phytoplankton assemblages comprised three divisions—Cyanophyta, Chlorophyta, and Chromophyta with a total of 68 genera. Chromophyta dominated throughout the study and exhibited pronounced blooms during the dry season, resulting in the highest phytoplankton density in February (mean: 527,504 cells  $\text{L}^{-1}$ ; maximum: 1,337,125 cells  $\text{L}^{-1}$ ), whereas densities declined markedly during the rainy season. Phytoplankton diversity ( $H'$ ) and evenness ( $J'$ ) decreased during diatom (Bacillariophyceae) bloom events and increased toward the late rainy season, reflecting a more heterogeneous community structure. Potentially harmful dinoflagellates were detected, particularly during the dry season, including *Prorocentrum* spp. (6,500 cells  $\text{L}^{-1}$ ) and *Gymnodinium* sp. (800 cells  $\text{L}^{-1}$ ). Correlation and multiple linear regression analyses identified salinity, temperature, and dissolved inorganic nutrients as key drivers regulating phytoplankton density. These findings highlight the seasonal risk of phytoplankton blooms and harmful species, with potential implications for water quality and shellfish safety in the study area.

**Conclusions:** Overall, the results demonstrated that temperature, salinity, and dissolved inorganic nutrients were key drivers influencing phytoplankton density, diversity, and community composition in the study area. During the dry season, phytoplankton blooms dominated by Bacillariophyceae (diatoms) were observed, resulting in reduced diversity, whereas the rainy season promoted shifts in community structure with an increased occurrence of taxa tolerant to low salinity conditions. Harmful and bloom-forming phytoplankton, including *Thalassiosira* sp. and *Bellerochea* sp., as well as potentially toxic dinoflagellates such as *Prorocentrum* spp. and *Gymnodinium* sp., were detected, particularly during the dry season. The proliferation of these taxa may contribute to oxygen depletion and increase the risk of toxin accumulation in shellfish. Therefore, continuous monitoring of water quality and

phytoplankton communities, particularly during the dry season, combined with effective management of nutrient inputs and environmental conditions, is essential to reduce ecological risks, ensure food safety, and support the long-term sustainability of shellfish aquaculture.

**Keywords:** water quality; phytoplankton; shellfish farming areas; Chonburi

\*Corresponding author. E-mail : patrawut@buu.ac.th

## Introduction

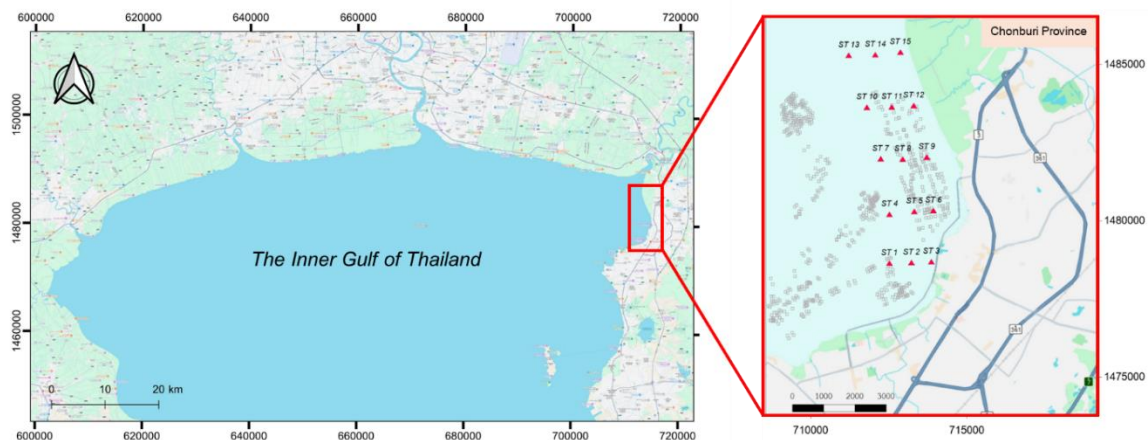
จังหวัดชลบุรีเป็นหนึ่งในพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะด้านการเพาะเลี้ยงหอยทะเล ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมประมงหลักของภาคตะวันออก และมีบทบาทสำคัญต่อรายได้ของชุมชนชายฝั่งตลอดจนความมั่นคงทางอาหารของประเทศ จากข้อมูลสถิติฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยทะเลประจำปี พ.ศ. 2565 พบว่า จังหวัดชลบุรีมีฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยทะเลจำนวนทั้งสิ้น 230 ฟาร์ม ครอบคลุมพื้นที่เพาะเลี้ยงรวม 2,910.86 ไร่ มีผลผลิตรวม 3,265.84 ตัน และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 84,337,700 บาท (DOF, 2023) โดยชนิดของหอยทะเลที่นิยมเลี้ยง ได้แก่ หอยแครง, หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ซึ่งแปลงเพาะเลี้ยงของหอยแต่ละชนิดมักกระจายตัวอยู่ในบริเวณชายฝั่งและปากแม่น้ำที่อยู่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ระบบการเพาะเลี้ยงดังกล่าวใช้ทรัพยากรน้ำร่วมกันและได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมในลักษณะเดียวกัน โดยเฉพาะองค์ประกอบทางชีวภาพในมวลน้ำที่มีบทบาทเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญตามธรรมชาติของหอยทะเล ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช ซึ่งทำหน้าที่ในระบบนิเวศเป็นผู้ผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำมีบทบาทสำคัญและมีบทบาทในการควบคุมวัฏจักรสารอาหาร การผลิตออกซิเจน รวมถึงการเป็นฐานอาหารให้แก่สิ่งมีชีวิตในลำดับขั้นที่สูงกว่า ในพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเล แพลงก์ตอนพืชทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารตามธรรมชาติที่ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหอยทะเล ทั้งนี้ องค์ประกอบทางชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชจะมีการตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางกายภาพและเคมีของน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของแพลงก์ตอนพืชสามารถสะท้อนสภาวะคุณภาพน้ำและระดับความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jahan & Singh, 2023)

อย่างไรก็ตาม พื้นที่ชายฝั่งจังหวัดชลบุรียังคงมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดเหตุการณ์การสะสมของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และระบบการเพาะเลี้ยงหอยทะเลชายฝั่ง จากรายงานของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในปี พ.ศ. 2565 พบว่า ในพื้นที่จังหวัดชลบุรีเกิดเหตุการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในปีดังกล่าวจำนวน 5 ครั้ง กระจายอยู่ในพื้นที่เลี้ยงหอยที่สำคัญ โดยชนิดแพลงก์ตอนพืชที่สำคัญและพบการสะสม ได้แก่ *Noctiluca scintillans*, *Karenia* sp. และ *Scrippsiella* sp. (DMCR, 2022) ซึ่งบางชนิดที่พบเคยมีรายงานความเป็นพิษหรือมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำและมนุษย์ (Leong *et al.*, 2015) เหตุการณ์ดังกล่าวไม่เพียงสะท้อนถึงการเสียสมดุลของระบบนิเวศชายฝั่งจากการสะสมของแพลงก์ตอนพืชเท่านั้น แต่ยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการสะสมสารพิษในหอยทะเล รวมถึงอาจเกิดผลกระทบต่ออาชีพเลี้ยงหอยทะเลในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดชลบุรีได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีรายงานเหตุการณ์การสะสมของแพลงก์ตอนพืชอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ แต่ความเข้าใจเชิงกลไกเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยคุณภาพน้ำต่อโครงสร้างชุมชนและความ

หลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งเลี้ยงหอยยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพน้ำกับโครงสร้างและความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่เลี้ยงหอยทะเล จังหวัดชลบุรี โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบชนิด และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนแพลงก์ตอนพืชตามช่วงเวลา ควบคู่กับการวิเคราะห์ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังเหตุการณ์การสะสมของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะชนิดที่มีศักยภาพก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำและระบบเพาะเลี้ยงหอยทะเล รวมถึงสนับสนุนการบริหารจัดการพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเลของจังหวัดชลบุรีให้มีความเหมาะสมและยั่งยืนในระยะยาว

## Methodology

ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืช บริเวณพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ใกล้พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเล จำนวน 15 สถานี (Figure 1) ในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยทำการศึกษาในเดือนธันวาคม 2566 กุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน และสิงหาคม 2567



**Figure 1** Map showing 15 sampling stations (red triangles) for water quality and phytoplankton in shellfish farming areas of Chonburi Province, Thailand.

การศึกษาคูณภาพน้ำภาคสนามประกอบด้วย การตรวจวัดความลึกน้ำ (Depth) ค่าความเค็ม (Salinity), อุณหภูมิ (Temperature) และออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยใช้เครื่องวัดภาคสนามแบบหลายพารามิเตอร์ (Multiparameter YSI Model 2030) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด pH (Horiba รุ่น PH110) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกเก็บน้ำที่ระดับความลึก 30 cm จากผิวน้ำ จำนวน 3 ขั้วต่อสถานี ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ถูกบรรจุในขวดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ผ่านการล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นปราศจากไอออน เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ก่อนนำไปเก็บรักษาในกล่องเก็บความเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C และขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์สารอาหาร ตัวอย่างน้ำถูกกรองผ่านแผ่นกรองใยแก้ว (Whatman GF/F) ทันทีหลังเก็บ และเก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 4 °C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (PCD, 2006) ส่วนตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ถูกกรองและเก็บแผ่นกรองไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะทำการสกัดและวิเคราะห์

**Table 1** Methods used for water quality analysis

| Water Quality Parameter                       | Analytical Method                                              |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Chlorophyll <i>a</i> (Chl <i>a</i> )          | Spectrophotometric (Strickland & Parsons, 1972)                |
| Total Ammonia Nitrogen (TAN)                  | Phenol-hypochlorite (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999)           |
| Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)     | Diazotization (Strickland & Parsons, 1972)                     |
| Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)     | Cadmium reduction + Diazotization (Strickland & Parsons, 1972) |
| Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P)  | Ascorbic acid (Strickland & Parsons, 1972)                     |
| Silicate (SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> -Si) | Silicomolybdate (Strickland & Parsons, 1972)                   |

ในการศึกษาแพลงก์ตอนพืช ทำการเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 20 L ที่ระดับความลึก 50 cm จากผิวน้ำ และกรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดตา 20 µm ก่อนบรรจุลงในขวดตัวอย่างและรักษาสภาพด้วยสารฟอร์มาลินความเข้มข้น 4 % ตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชจะถูกนำมาวิเคราะห์และจำแนกชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ตามแนวทางที่ระบุไว้ใน Wongrat (1999) การประเมินความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชดำเนินการโดยใช้สไลด์นับแพลงก์ตอนชนิด Sedgewick–Rafter counting chamber ซึ่งมีปริมาตรความจุ 1 mm (Wongrat & Boonyapiwat, 2003) ทำการนับตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำต่อสถานี และคำนวณหาปริมาณแพลงก์ตอนพืชในหน่วยเซลล์ต่อลิตร (cells L<sup>-1</sup>) ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปใช้คำนวณดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช ได้แก่ ดัชนี Shannon–Wiener (H') และดัชนีความสม่ำเสมอของชนิด Pielou's evenness (J') เพื่อประเมินโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชในแต่ละสถานีและช่วงเวลา (Hurlbert, 1971) ผลการศึกษาจะนำเสนอในรูปค่ามัธยฐานและช่วงควอไทล์ (median ± IQR) สำหรับกราฟแบบ boxplot ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชจะวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสถานีและช่วงเวลาโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$  และเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะทำการทดสอบเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจะวิเคราะห์ด้วยค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation) ที่ระดับนัยสำคัญ  $p < 0.05$  และใช้การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยคัดเลือกตัวแปรอิสระจากทั้งนัยสำคัญทางสถิติและความสำคัญเชิงนิเวศ ความเหมาะสมของแบบจำลองประเมินจากค่า R<sup>2</sup> และการวิเคราะห์ทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม Minitab Statistical Software

## Results

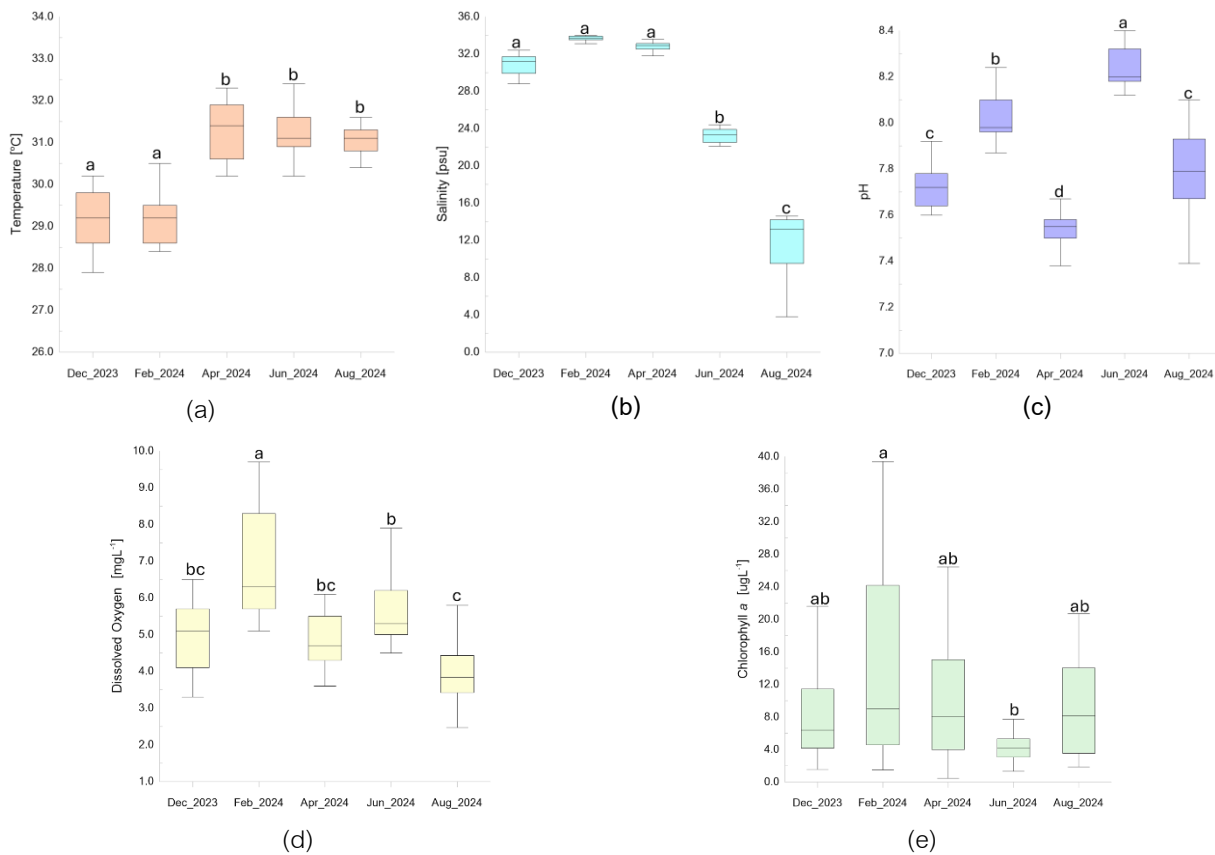
ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไปบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรีจาก 15 สถานี (Table 2) ในช่วงเดือนธันวาคม 2566 กุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน และสิงหาคม 2567 พบว่า คุณภาพน้ำมีความแปรผันตามช่วงเวลาอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิน้ำ

ทะเลอยู่ในช่วง 29.2–31.3 °C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนธันวาคม 2567 ทั้งนี้อุณหภูมิไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสถานี ( $p>0.05$ ) (Figure 2a)

**Table 2** Mean ( $\pm$  SD) water quality parameters in coastal areas of Chonburi Province, Thailand.

| Water quality          | unit               | Dec 2023        | Feb 2024        | Apr 2024       | Jun 2024       | Aug 2024         |
|------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| Temperature            | °C                 | 29.2 $\pm$ 0.7  | 29.2 $\pm$ 0.6  | 31.3 $\pm$ 0.7 | 31.2 $\pm$ 0.6 | 31.0 $\pm$ 0.3   |
| Salinity               | psu                | 31.0 $\pm$ 1.1  | 33.7 $\pm$ 0.3  | 32.8 $\pm$ 0.5 | 23.3 $\pm$ 0.8 | 11.5 $\pm$ 3.8   |
| pH                     | -                  | 7.7 $\pm$ 0.2   | 8.0 $\pm$ 0.1   | 7.5 $\pm$ 0.1  | 8.2 $\pm$ 0.1  | 7.8 $\pm$ 0.2    |
| Depth                  | m                  | 1.5 $\pm$ 0.5   | 1.4 $\pm$ 0.5   | 1.3 $\pm$ 0.5  | 2.0 $\pm$ 0.4  | 1.7 $\pm$ 0.5    |
| Dissolved Oxygen       | mg L <sup>-1</sup> | 4.9 $\pm$ 1.3   | 6.8 $\pm$ 1.4   | 4.9 $\pm$ 0.7  | 5.6 $\pm$ 0.9  | 4.0 $\pm$ 0.8    |
| Chlorophyll a          | µg L <sup>-1</sup> | 7.6 $\pm$ 5.2   | 14.4 $\pm$ 11.8 | 11.2 $\pm$ 9.5 | 4.4 $\pm$ 1.8  | 9.1 $\pm$ 5.8    |
| Total Ammonia Nitrogen | µM                 | 18.9 $\pm$ 19.2 | 2.8 $\pm$ 2.5   | 11.5 $\pm$ 6.2 | 3.6 $\pm$ 2.1  | 11.8 $\pm$ 10.0  |
| Nitrite                | µM                 | 1.1 $\pm$ 0.3   | 0.5 $\pm$ 0.6   | 1.9 $\pm$ 0.7  | 0.6 $\pm$ 0.3  | 2.2 $\pm$ 1.2    |
| Nitrate                | µM                 | 3.5 $\pm$ 1.4   | 0.8 $\pm$ 0.8   | 6.6 $\pm$ 3.2  | 1.6 $\pm$ 1.1  | 5.1 $\pm$ 6.1    |
| Silicate               | µM                 | 58.0 $\pm$ 23.7 | 17.8 $\pm$ 5.8  | 25.3 $\pm$ 9.3 | 14.7 $\pm$ 6.3 | 117.6 $\pm$ 17.1 |
| phosphate              | µM                 | 3.7 $\pm$ 2.3   | 0.9 $\pm$ 0.4   | 2.2 $\pm$ 0.5  | 1.5 $\pm$ 0.5  | 2.6 $\pm$ 1.1    |

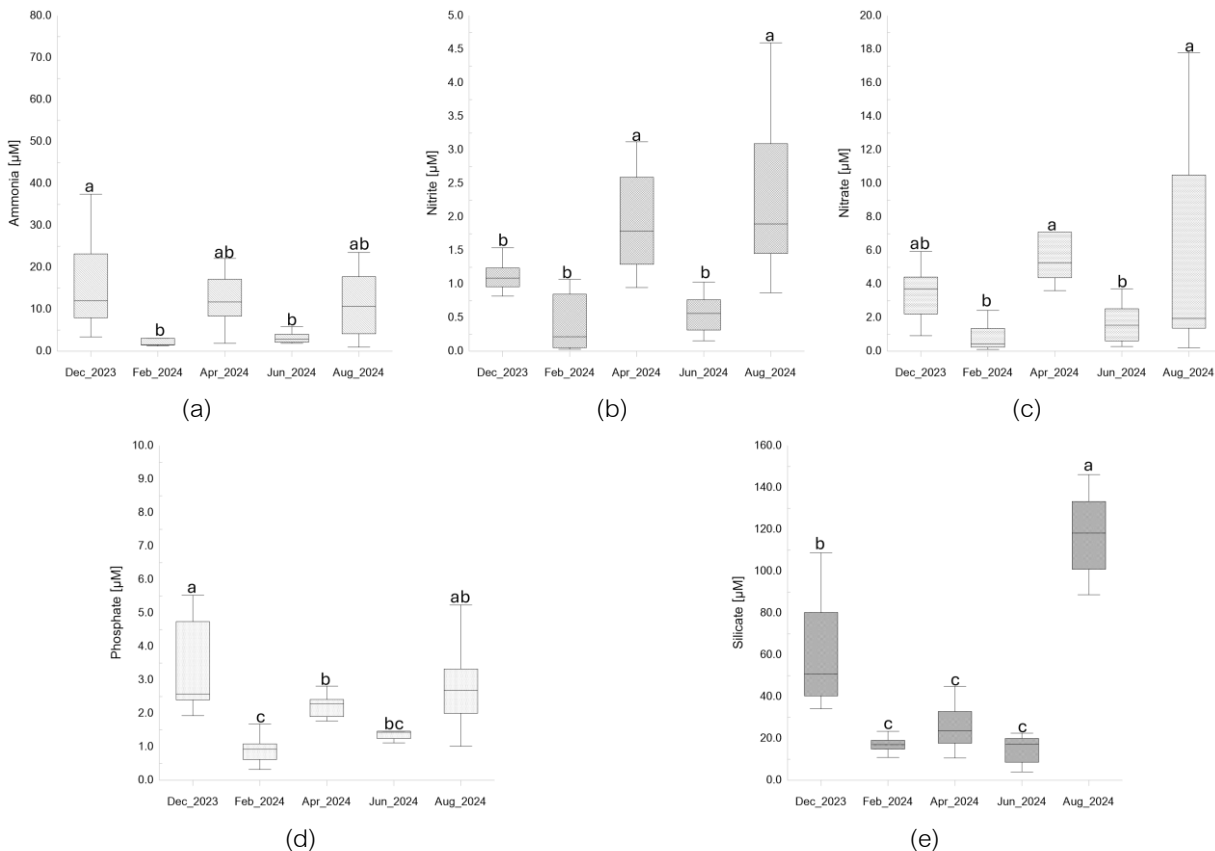
ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษาพบว่ามีค่าเฉลี่ยของน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.3 $\pm$ 0.5 ถึง 2.0 $\pm$ 0.4 m โดยมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ในแต่ละเดือน แสดงให้เห็นว่าความลึกของน้ำมีความแปรผันระหว่างเดือนไม่แตกต่างกันมาก (Table 2) ส่วนความเค็มของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตั้งแต่ 11.5  $\pm$  3.8 ถึง 33.7  $\pm$  0.3 psu และมีความแตกต่างตามช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (Figure 2b) โดยค่าความเค็มสูงในเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) ขณะที่ค่าต่ำสุดพบในเดือนสิงหาคม 2567 (ฤดูฝน) สะท้อนอิทธิพลของน้ำจืดจากปริมาณน้ำฝนและการไหลบ่าจากแผ่นดินสู่พื้นที่ชายฝั่ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.5-8.2 ตลอดช่วงการศึกษา และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (Figure 2c) ขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 4.0  $\pm$  0.8 ถึง 6.8  $\pm$  1.4 mg L<sup>-1</sup> และมีความแตกต่างช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) (Figure 2d) โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และลดลงในเดือนสิงหาคม 2567 สำหรับคลอโรฟิลล์-เอ ซึ่งเป็นตัวแทนมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช พบค่าอยู่ในช่วง 4.4  $\pm$  1.8 ถึง 14.4  $\pm$  11.8 µg L<sup>-1</sup> และมีความแตกต่างตามช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) (Figure 2e) โดยมีค่าสูงในเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน 2567 ก่อนลดลงในเดือนมิถุนายน 2567 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคม 2567 สะท้อนความผันผวนของผลผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศชายฝั่งจังหวัดชลบุรี



**Figure 2** Box plots showing temporal variation of temperature (a), salinity (b), pH (c), dissolved oxygen (d), and chlorophyll-a (e) in shellfish farms of Chonburi Province from December 2023 to August 2024. Different letters indicate significant differences among months ( $p < 0.05$ ; one-way ANOVA with Tukey's HSD). Sample size was  $n=45$  per month.

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอาหารอินทรีย์ละลายน้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ชัดเจน โดยแอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง  $2.8 \pm 2.5$  ถึง  $18.9 \pm 19.2$   $\mu\text{M}$  ซึ่งพบค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม 2566 รองลงมาคือเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม 2567 และมีค่าต่ำในเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2567 (Figure 3a) ไนเตรทมีค่าอยู่ในช่วง  $0.8 \pm 0.8$  ถึง  $6.6 \pm 3.2$   $\mu\text{M}$  โดยพบค่าสูงในเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม 2567 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2567 (Figure 3b) ขณะทีไนโตรต์ มีค่าอยู่ในช่วง  $0.5 \pm 0.6$  ถึง  $2.2 \pm 1.2$   $\mu\text{M}$  โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือนสิงหาคม (Figure 3c) ฟอสเฟตมีค่าอยู่ในช่วง  $0.9 \pm 0.4$  ถึง  $3.7 \pm 2.3$   $\mu\text{M}$  โดยพบค่าสูงในเดือนธันวาคม 2566 ( $3.7 \pm 2.3$   $\mu\text{M}$ ) และเดือนสิงหาคม 2567 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมิถุนายน 2567 ( $1.5 \pm 0.5$   $\mu\text{M}$ ) ที่มีค่าต่ำกว่า (Figure 3d) ซิลิเกต มีค่าอยู่ในช่วง  $14.7 \pm 6.3$  ถึง  $117.6 \pm 17.1$   $\mu\text{M}$  โดยพบค่าสูงในเดือนธันวาคม 2566 และเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในเดือนสิงหาคม 2567

ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากเดือนกุมภาพันธ์และมิถุนายน 2567 ที่มีค่าต่ำกว่าอย่างชัดเจนซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของน้ำท่าในช่วงฤดูฝน



**Figure 3** Box plots showing temporal variation of ammonia (a), nitrite (b), nitrate (c), phosphate (d), and silicate (e) concentrations in the coastal waters of Chonburi Province, Thailand. Different letters indicate significant differences among months ( $p < 0.05$ ; one-way ANOVA with Tukey's HSD). Sample size was  $n=45$  per month.

ผลการศึกษาแพลงก์ตอนพืชในบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี พบความหลากหลายของแพลงก์ตอน 3 ดิวิชัน 6 คลาส 68 สกุล (Table 3) โดยดิวิชัน Cyanophyta พบชนิดที่สำคัญได้แก่ *Oscillatoria* sp. ในขณะที่ชนิดอื่น เช่น *Merismopedia* sp. *Microcystis* sp. *Pseudanabaena* spp. และ *Spirulina* sp. พบเฉพาะเดือนสิงหาคม 2567 สะท้อนให้เห็นความแตกต่างของช่วงเวลาต่อการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชกลุ่มนี้ สำหรับดิวิชัน Chlorophyta พบแพลงก์ตอนพืชเพียงในเดือนสิงหาคม 2567 เช่น *Actinastrum* sp. *Closterium* spp. และ *Trachelomonas* sp. ในส่วนของ ดิวิชัน

Chromophyta สามารถพบได้ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae (Diatom) มีความหนาแน่นของแต่ละชนิดแตกต่างกันไป เช่น *Amphora* spp. และ *Thalassiosira* sp. ในขณะที่บางชนิด เช่น *Cymatosira* sp. และ *Lyrella* sp. พบเป็นบางช่วงเวลาที่แสดงถึงความหลากหลายและฤดูกาลของไดอะตอม ส่วนในแพลงก์ตอนพืชกลุ่มของ Dinophyceae (Dinoflagellates) พบบางชนิด เช่น *Peridinium* spp. และ *Noctiluca* sp. กระจายเกือบทุกช่วงเวลาของการศึกษา

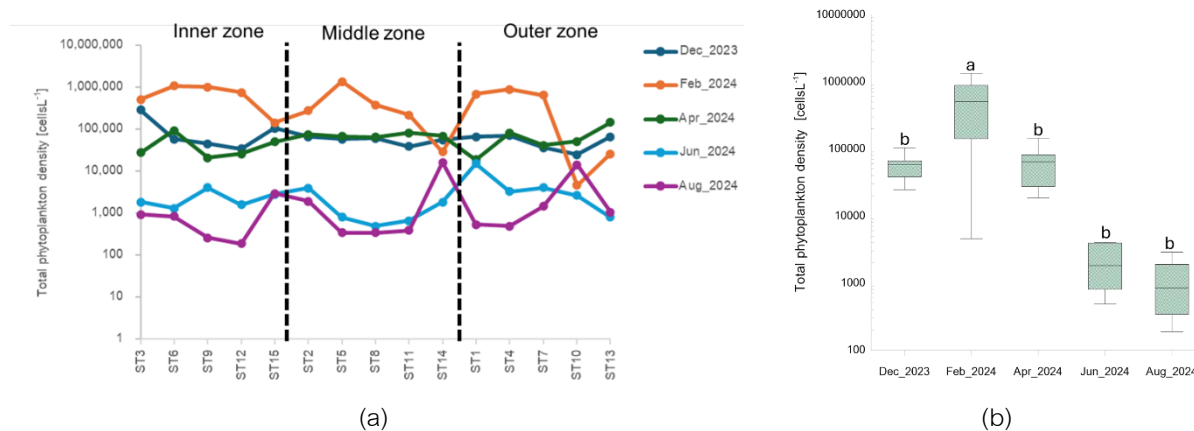
**Table 3** Phytoplankton species recorded in the study area of shellfish farming zones, Chonburi Province, Thailand

| Division         | Class             | Species                    | Dec 2023 | Feb 2024 | Apr 2024 | Jun 2024 | Aug 2024 |
|------------------|-------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cyanophyta       | Cyanophyceae      | <i>Merismopedla</i> sp.    |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>microcystis</i> sp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Oscillatoria</i> sp.    | *        | *        | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Pseudanabaena</i> spp.  |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Spirulina</i> sp.       |          |          |          |          | *        |
| Chlorophyta      | Chlorophyceae     | <i>Actinastrum</i> sp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Closterium</i> spp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Crucigeniella</i> sp.   |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Dictyosphaerium</i> sp. |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Microactinium</i> spp.  |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Pandolina</i> sp.       |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Pediastrum</i> spp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Scenedesmus</i> spp.    |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Staurastrum</i> spp.    |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Tetraedron</i> spp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | Euglenophyceae             |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Trachelomonas</i> sp.   |          |          |          |          | *        |
| Chromophyta      | Bacillariophyceae | <i>Actinopterychus</i> sp. | *        |          | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Amphora</i> spp.        | **       | **       | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Aulacoseira</i> sp.     |          |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Bacillaria</i> sp.      | ***      | *        | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Bacteriastrium</i> sp.  | *        | **       | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Bellerophon</i> sp.     | **       | ****     | ***      | *        | *        |
|                  |                   | <i>Chaetoceros</i> spp.    | **       | ***      | ***      |          | *        |
|                  |                   | <i>Corethron</i> sp.       | *        |          |          |          | *        |
|                  |                   | <i>Coscinodiscus</i> spp.  | **       | **       | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Cyclotella</i> sp.      | *        | **       | **       | **       | **       |
|                  |                   | <i>Cylindrotheca</i> sp.   | ****     | ***      | ***      | **       | *        |
|                  |                   | <i>Cymatosira</i> sp.      | *        |          | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Ditylum</i> sp.         | *        | *        | ****     |          |          |
|                  |                   | <i>Entomomes</i> sp.       | *        | *        | ***      | **       | *        |
|                  |                   | <i>Epithemia</i> sp.       | *        | **       | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Eucampia</i> sp.        | *        | **       |          |          |          |
|                  |                   | <i>Eunotia</i> sp.         | *        |          |          |          |          |
|                  |                   | <i>Guinardia</i> spp.      | *        |          | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Haslea</i> sp.          | *        | *        | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Hemiaulus</i> spp.      | *        | *        | **       |          |          |
| Chromophyta      | Bacillariophyceae | <i>Lauderia</i> spp.       | **       | **       | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Leptocylindrus</i> spp. | *        | *        | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Lyrella</i> sp.         | *        | *        | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Melosira</i> sp.        | **       | *        | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Navicula</i> spp.       | ***      | **       | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Nitzschia</i> spp.      | **       | **       | **       | **       | *        |
|                  |                   | <i>Odontella</i> spp.      | **       | **       | **       |          | *        |
|                  |                   | <i>Paralia</i> sp.         |          | *        | *        | *        |          |
|                  |                   | <i>Proboscia</i> sp.       | **       | *        | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Pinularia</i> sp.       | *        |          | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Pleurosigma</i> spp.    | ***      | ***      | ***      | **       | *        |
|                  |                   | <i>Pseudonitzschia</i> sp. |          | *        | **       | *        |          |
|                  |                   | <i>Rhizosolenia</i> sp.    | ****     | ***      | **       |          | *        |
|                  |                   | <i>Skeletonema</i> sp.     | ***      | **       | ***      | **       | ***      |
|                  |                   | <i>Surirella</i> spp.      | **       | **       | **       | **       | *        |
|                  |                   | <i>Synedra</i> sp.         | *        | **       | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Thalassionema</i> sp.   | ***      | *        | ***      | *        | *        |
|                  |                   | <i>Thalassiosira</i> sp.   | ****     | ****     | ****     | **       | *        |
|                  |                   | <i>Thalassiothrix</i> sp.  | *        | *        | **       |          |          |
|                  |                   | <i>Trachynies</i> spp.     | *        | *        |          |          |          |
| Dinophyceae      | Dinophyceae       | <i>Triceratium</i> sp.     | *        | *        | *        |          | *        |
|                  |                   | <i>Amphidoma</i> sp.       | *        |          |          |          |          |
|                  |                   | <i>Gonyaulax</i> sp.       | *        |          | *        |          |          |
|                  |                   | <i>Gymnodinium</i> spp.    | **       |          | *        |          | *        |
|                  |                   | <i>Noctiluca</i> sp.       |          |          | **       | *        | *        |
|                  |                   | <i>Peridinium</i> spp.     | ***      | **       | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Prorocentrum</i> spp.   | **       | *        | *        | *        |          |
|                  |                   | <i>Protoperidinium</i> sp. | **       | *        | *        |          | *        |
|                  |                   | <i>Pyrophacus</i> sp.      | *        | *        | *        | *        | *        |
|                  |                   | <i>Scrippsiella</i> sp.    | *        |          |          |          |          |
| Dictyochophyceae | Dictyochophyceae  | <i>Tripes</i> sp.          | **       | *        | **       |          | *        |
|                  |                   | <i>Dictyocha</i> sp.       |          | *        | *        |          |          |

Note: \* indicates 1–100 cells L<sup>-1</sup>, \*\* indicates 100–1,000 cells L<sup>-1</sup>, \*\*\* indicates 1,000–10,000 cells L<sup>-1</sup>, and \*\*\*\* indicates >10,000 cells L<sup>-1</sup>

ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละสถานีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ถึงแม้ว่าจะพบความแตกต่างเชิงปริมาณในบางสถานี (Figure 4a) (เช่น สถานี 10 และ 15 ในเดือนกุมภาพันธ์ และสิงหาคม 2567) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าสถานีอื่นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ความแปรปรวนภายในกลุ่มที่ค่อนข้างสูงและขนาดตัวอย่างที่จำกัด ส่งผลให้ไม่ตรวจพบความแตกต่างเชิงสถิติ ในด้านการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาพบความแตกต่างอย่างเด่นชัด (Figure 4a) โดยความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงในฤดูแล้งและลดลงในฤดูฝน กล่าวคือ เดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ย 70,772 cells L<sup>-1</sup> และเพิ่มขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ (เฉลี่ย 527,504 cells L<sup>-1</sup>; ค่าสูงสุดที่สถานี 5 เท่ากับ 1,337,125 cells L<sup>-1</sup>)

จากนั้นลดลงในเดือนเมษายน ( $60,557 \text{ cells L}^{-1}$ ) และลดลงอย่างชัดเจนในเดือนมิถุนายนและสิงหาคม 2567 ( $2,990$  และ  $2,777 \text{ cells L}^{-1}$ ) นอกจากนี้ ยังตรวจพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตที่มีศักยภาพในการสร้างสารพิษ ได้แก่ *Protorecentrum* spp. และ *Gymnodinium* sp. ในเดือนธันวาคม 2566

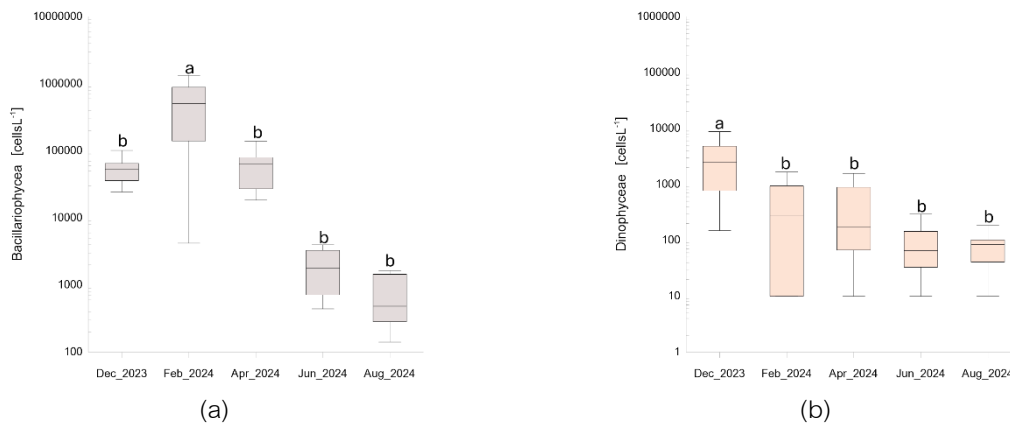


**Figure 4** Phytoplankton density ( $\text{cells L}^{-1}$ ) by station (a) and month (b) in Chonburi shellfish farming areas.

No significant differences among stations ( $p > 0.05$ ,  $n = 5$ ). Different letters indicate significant differences among months ( $p < 0.05$ ,  $n = 15$ ).

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแพลงก์ตอนพืชเฉพาะกลุ่มเด่นได้แก่ กลุ่ม Bacillariophyceae และ Dinophyceae ซึ่งสามารถพบได้ในทุกช่วงเวลา และยังมีความผันแปรชัดเจน โดยกลุ่ม Bacillariophyceae ในเดือนธันวาคม 2566 และเดือนกุมภาพันธ์ 2567 มีแนวโน้มสูงกว่าช่วงเวลาอื่น (Figure 5a) ส่วนของแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Dinophyceae พบว่าในเดือนธันวาคม 2566 ถึงสิงหาคม 2567 มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae อย่างชัดเจน (Figure 5b) และมีการกระจายตัวของข้อมูลกว้างในบางช่วงเวลา แต่ค่ามัธยฐานยังคงต่ำกว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนพืชพบว่า คลอโรฟิลล์เอ ในระบบน้ำชายฝั่งที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากตัวแปรด้านธาตุอาหารและองค์ประกอบชุมชนแพลงก์ตอนพืชหลายกลุ่ม (Figure 7) โดยคลอโรฟิลล์ เอ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฟอสเฟต ขณะเดียวกันคลอโรฟิลล์ เอ แสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับซิลิเกต สำหรับ แพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงลบกับซิลิเกตซึ่งสอดคล้องกับการใช้ซิลิเกตอย่างรวดเร็ว ด้านแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Dinophyceae มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฟอสเฟตและไนเตรท



**Figure 5** Temporal changes in diatom (a) and dinoflagellate (b) densities in coastal shellfish farming areas of Chonburi, Thailand ( $\log_{10}$ -scale on y-axis). Different letters (a, b) indicate significant differences among months ( $p < 0.05$ ,  $n = 15$  per month)

**Table 4** Phytoplankton diversity indices (mean  $\pm$  SD and range) in coastal shellfish farming areas of Chonburi Province, Thailand.

|                           | Dec 2023                       | Feb 2024                       | Apr 2024                       | Jun 2024                       | Aug 2024                       |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Species (s)               | 24.3 $\pm$ 2.8<br>(19.0-29.0)  | 19.4 $\pm$ 3.7<br>(12.0-26.0)  | 23.8 $\pm$ 5.0<br>(13.0-30.0)  | 12.4 $\pm$ 2.2<br>(8.0-16.0)   | 13.5 $\pm$ 6.1<br>(3.0-25.0)   |
| Shannon–Wiener Index (H') | 1.69 $\pm$ 0.29<br>(1.10-2.18) | 0.68 $\pm$ 0.59<br>(0.25-2.54) | 1.53 $\pm$ 0.51<br>(0.63-2.32) | 1.73 $\pm$ 0.51<br>(0.94-2.56) | 1.86 $\pm$ 0.67<br>(0.67-2.71) |
| Evenness index (J')       | 0.53 $\pm$ 0.09<br>(0.36-0.66) | 0.23 $\pm$ 0.18<br>(0.09-0.80) | 0.48 $\pm$ 0.14<br>(0.24-0.70) | 0.53 $\pm$ 0.09<br>(0.36-0.66) | 0.76 $\pm$ 0.23<br>(0.25-0.94) |

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับกลุ่มแพลงก์ตอนพืชหลักในพื้นที่เลี้ยงหอยจังหวัดชลบุรีโดยใช้สมการถดถอยพหุคูณ (Table 5) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านกายภาพและสารอาหารมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชแต่ละกลุ่มในระดับที่แตกต่างกัน สำหรับกลุ่ม Bacillariophyceae ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิน้ำและฟอสเฟต และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็ม โดยสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 34.8 ในกลุ่ม Dinophyceae ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็ม ซิลิเกต และฟอสเฟต ขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนีย โดยสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 39.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับกลุ่มแพลงก์ตอนพืชหลักในพื้นที่เลี้ยงหอยจังหวัดชลบุรีโดยใช้สมการถดถอยพหุคูณ (Table 5) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านกายภาพและสารอาหารมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชแต่ละกลุ่มในระดับที่แตกต่างกัน สำหรับกลุ่ม Bacillariophyceae ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิน้ำและฟอสเฟต และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความ

เค็ม โดยสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 34.8 ในกลุ่ม Dinophyceae ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็ม ซิลิเกต และฟอสเฟต ขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับแอมโมเนีย โดยสมการสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 39.4

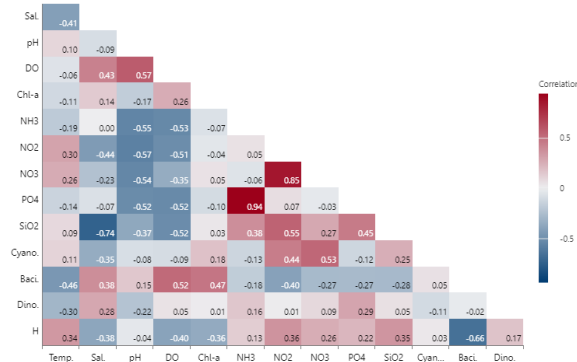


Figure 7 Pearson's correlations between water quality and phytoplankton composition ( $P < 0.05$ ,  $n = 15$ ).

Table 5 Multiple linear regression equations describing the relationships between water quality variables and major phytoplankton groups in shellfish farming areas of Chonburi Province

| Major phytoplankton groups                 | Equations of relationship                                                | R <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Bacillariophyceae [cells L <sup>-1</sup> ] | $= 3,220,817 - 102,418 [Temp] + 5,734 [Sal] - 58,282 [PO_4^{3-}]$        | 0.35           |
| Dinophyceae [cells L <sup>-1</sup> ]       | $= -5,497 + 150.7 [Sal] + 20.45 [SiO_2] + 1,449[PO_4^{3-}] - 178.4[TAN]$ | 0.39           |

## Discussion

การศึกษาอิทธิพลของคุณภาพน้ำต่อโครงสร้างและความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งเพาะเลี้ยงหอยจังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนธันวาคม 2566 ถึงสิงหาคม 2567 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในทะเล โดยค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ขณะที่ออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า  $4 \text{ mg L}^{-1}$  ซึ่งเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (PCD, 2006) อย่างไรก็ตาม ระบบนิเวศในพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยในช่วงเดือนธันวาคม 2566 ถึงกุมภาพันธ์ 2567 (ฤดูแล้ง) อุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเค็มอยู่ในระดับสูง (31–34 psu) และลดลงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2567 (ฤดูฝน) จนต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ  $11.5 \pm 3.8 \text{ psu}$  ในเดือนสิงหาคม 2567 ซึ่งสะท้อนอิทธิพลของน้ำจืดจากการไหลบ่าของน้ำฝนเข้าสู่พื้นที่ชายฝั่ง (Buranapratheprat *et al.*, 2008) การเปลี่ยนแปลงของความเค็มและสภาพแวดล้อมดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อพลวัตของสารอาหารอนินทรีย์ โดยในช่วงฤดูฝนพบการเพิ่มขึ้นของสารอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะซิลิเกต ซึ่งสัมพันธ์กับ

กระบวนการชะล้างจากแผ่นดิน (Cloern, 2001) ขณะที่ฟอสเฟตและไนโตรเจนรูปแบบต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและการนำเข้าสารอาหารจากแหล่งบนบก (He *et al.*, 2023; Peierls *et al.*, 1991; Howarth *et al.*, 2006) ลักษณะดังกล่าวสะท้อนถึงสภาวะความอุดมสมบูรณ์ (eutrophication) ที่อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการสะสมของแพลงก์ตอนพืช อย่างไรก็ตามในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2567 ที่มีการสะสมของแพลงก์ตอนพืชกลับพบว่าสารอาหารมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสะท้อนการถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยแพลงก์ตอนพืช ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jin *et al.* (2013) ที่พบว่าความเข้มข้นของสารอาหารอินทรีย์โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสเฟต จะลดลงในช่วงที่เกิดการสะสมของแพลงก์ตอนพืช

จากการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งจะส่งผลต่อโครงสร้างชุมชนของแพลงก์ตอนพืช โดยในช่วงฤดูแล้งที่สภาพน้ำค่อนข้างนิ่งและมีแสงเพียงพอจะส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่อง (Niyomsilpchai *et al.*, 2023) ขณะที่การลดลงของความเค็มในฤดูฝนมีผลต่อการกระจายของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชที่ทนต่อความเค็มต่ำ เช่น Cyanophyceae และ Chlorophyceae และอาจก่อให้เกิดการรบกวนระบบนิเวศ (disturbance) ทำให้โครงสร้างชุมชนเปลี่ยนแปลง (Paerl *et al.*, 2011; Kholssi *et al.*, 2023) นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของซิลิเกตในช่วงปลายฤดูฝนยังเอื้อต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Bacillariophyceae (Egge & Aksnes, 1992) ในด้านความอุดมสมบูรณ์พบว่า ค่าคลอโรฟิลล์ เอ มีแนวโน้มสูงในช่วงฤดูแล้ง สอดคล้องกับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มขึ้น และอยู่ในระดับ eutrophic ถึง hypertrophic ตามเกณฑ์ประเมิน (Smith *et al.*, 1999) ซึ่งสะท้อนถึงภาวะที่มีสารอาหารสูง และอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดสภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxia) ในระยะยาว (Diaz & Rosenberg, 2008)

ในส่วนของการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชพบว่าฤดูกาลมีผลอย่างชัดเจนโดยฤดูแล้งพบกลุ่มของ Bacillariophyceae เป็นกลุ่มเด่นและมีค่าดัชนีความหลากหลายต่ำ ( $H' = 0.68$ ) สะท้อนให้เห็นถึงการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในช่วงเวลาดังกล่าว (Hilaluddin *et al.*, 2020) ส่วนในฤดูฝนความหนาแน่นรวมลดลงเนื่องจากความเค็มของน้ำลดลงและมีการเจือจางสารอาหาร ขณะที่ช่วงกลางฤดูฝนมีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Cyanophyceae และ Chlorophyceae ทำให้ดัชนีความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอนพืชสูงขึ้นแม้จำนวนชนิดยังจำกัด การวิเคราะห์เชิงตัวเลขชี้ว่าความหลากหลายและความสม่ำเสมอของแพลงก์ตอนพืชเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการประเมินความเสี่ยงต่อการสะสมของแพลงก์ตอนพืชได้ (Valenzuela-Sanchez *et al.*, 2021) ในช่วงฤดูแล้งพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มหลัก ได้แก่ Bacillariophyceae (diatom) เช่น *Pseudo-nitzschia* sp. และ *Skeletonema* sp. ซึ่งมีความหนาแน่นสูงและอาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี และเกิดภาวะพร่องออกซิเจนได้ (Wu *et al.*, 2012) นอกจากนี้ยังพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Dinophyceae หลายชนิด เช่น *Peridinium* sp., *Prorocentrum* spp., *Protoperdinium* sp., *Gymnodinium* sp. และ *Tripos* sp. โดยบางชนิดมีศักยภาพในการสร้างสารพิษ และอาจก่อให้เกิดภาวะน้ำเน่าเสียเมื่อมีการตายพร้อมกัน (Paerl *et al.*, 2011) ทั้งนี้การสำรวจพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Dinophyceae หลายสกุลที่มีศักยภาพในการสร้างสารพิษในพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเล ยังสะท้อนความเสี่ยงเชิงนิเวศและความปลอดภัยด้านอาหาร โดยเฉพาะต่อสัตว์น้ำที่มีพฤติกรรมกินอาหารแบบกรองกิน ซึ่งสามารถสะสมสารพิษในเนื้อเยื่อโดยไม่แสดงอาการผิดปกติ (Anderson *et al.*, 2012) โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชสกุล *Prorocentrum* spp. ที่สร้างสารพิษกลุ่ม diarrhetic shellfish poisoning (DSP) เช่น okadaic acid ซึ่งก่อความเสี่ยงต่อผู้บริโภค (FAO, 2004;

Reguera *et al.*, 2014) ขณะที่ *Gymnodinium* sp. มีรายงานการผลิตสารพิษที่ส่งผลกระทบต่อปลาและสัตว์เมื่อมีการเพิ่มจำนวนสูงขึ้น (Hallegraeff, 1993) ส่วน *Tripos* sp. แม้ว่าเป็นแพลงก์ตอนพืชชนิดที่ไม่สร้างสารพิษโดยตรง แต่การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วสามารถนำไปสู่สภาวะพร่องออกซิเจนและยังส่งผลกระทบต่อความเครียดของสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย (Horner *et al.*, 1997)

สำหรับผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณชี้ให้เห็นว่าปัจจัยด้านคุณภาพน้ำมีบทบาทต่อโครงสร้างและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในระดับปานกลาง โดยค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.33–0.39 ซึ่งสะท้อนถึงความซับซ้อนของระบบนิเวศทางน้ำที่ถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัยร่วมกัน (Cloern, 2001) ความแตกต่างของตัวแปรที่ส่งผลต่อแพลงก์ตอนพืชแต่ละกลุ่มบ่งชี้ถึงการตอบสนองที่แตกต่างกันต่อสภาพแวดล้อม โดยกลุ่มที่สัมพันธ์กับความเค็มและฟอสเฟตมีแนวโน้มเด่นในสภาวะน้ำทะเล และการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหาร ขณะที่กลุ่มที่สัมพันธ์กับไนโตรเจนและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มสะท้อนอิทธิพลของน้ำจืดจากแหล่งบนบก (Paerl *et al.*, 2011) แม้แบบจำลองจะสามารถอธิบายแนวโน้มได้บางส่วน แต่ค่า  $R^2$  ที่อยู่ในระดับปานกลาง (Jacob Cohen, 1988; Daniel Borcard *et al.*, 2018) ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพอื่น ๆ เช่น แสง การไหลเวียนของน้ำ และปฏิสัมพันธ์ทางชีวภาพ อาจมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างชุมชนแพลงก์ตอนพืชและควรได้รับการพิจารณาในการศึกษาต่อไป

## Conclusions

การศึกษาอิทธิพลของคุณภาพน้ำต่อโครงสร้างและความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งเพาะเลี้ยงหอยจังหวัดชลบุรี ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเค็ม และสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำมีบทบาทสำคัญต่อความหนาแน่น ความหลากหลาย และชนิดเด่นของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละฤดูกาล โดยฤดูแล้งเอื้อต่อการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอม ส่งผลให้ค่าความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชลดลง ขณะที่ฤดูฝนแพลงก์ตอนพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนและพบกลุ่มแพลงก์ตอนพืชที่ทนต่อความเค็มต่ำเพิ่มขึ้น ในด้านความเสี่ยงทางนิเวศพบแพลงก์ตอนพืชที่มีศักยภาพก่อพิษและปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีพบเด่นชัดในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นช่วงที่สภาพน้ำเหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชบางสกุล เช่น *Thalassiosira* sp. *Bellerochea* sp. และแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Dinophyceae เช่น *Prorocentrum* spp. และ *Gymnodinium* sp. การเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้อาจนำไปสู่การใช้ออกซิเจนสูงและการสะสมสารพิษในหอยทะเล ดังนั้น การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเสี่ยงอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ควรดำเนินการควบคู่กับการบริหารจัดการที่มุ่งควบคุมปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในน้ำ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาระบบเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลเชิงประจักษ์จากการศึกษา ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวจะช่วยลดการสูญเสียผลผลิต เพิ่มความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และสนับสนุนการเพาะเลี้ยงหอยทะเลให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

## Acknowledgments

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณสนับสนุนผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เพื่อสนับสนุนการวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

## References

- Anderson, D. M., Cembella, A. D., & Hallegraeff, G. M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual Review of Marine Science*, 4, 143–176.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Matsumura, S. (2008). Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, 28(18), 2509–2522.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P., 2018. *Numerical ecology with R*, 2nd ed. Springer.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253.
- Cohen, J., 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates.
- Department of Fisheries-DOF. (2023). *Statistics of marine shellfish farms 2022* (Report No. 10/2566). Fisheries Statistics Group, Policy and Planning Division, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Department of Marine and Coastal Resources - DMCR. (2022). *State of marine and coastal resources and coastal erosion: Thailand national report 2021*. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- Egge, J. K., & Aksnes, D. L. (1992). Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Marine Ecology Progress Series*, 83, 281–289.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2004). *Marine biotoxins (FAO Food and Nutrition Paper No. 80)*. FAO.

Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1999). *Methods of seawater analysis (3rd ed.)*. Wiley-VCH.

Hallegraeff, G. M. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2), 79–99

He, Y., Zhang, P., Xu, F., Zhao, L., & Zhang, J. (2023). Seasonal nutrients variation, eutrophication pattern, And Chlorophyll a response adjacent to Guangdong coastal water, China. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1236609. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1236609>

Hilaluddin, F., Yusoff, F. M., & Toda, T. (2020). Shifts in diatom dominance associated with seasonal changes in an estuarine-mangrove phytoplankton community. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 528.

Horner, R. A., Garrison, D. L., & Plumley, F. G. (1997). Harmful algal blooms and red tide problems on the U.S. west coast. *Limnology and Oceanography*, 42(5\_part\_2), 1076–1088.

Howarth, R. W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J. A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, F., Freney, J., Kudryakov, V., Murdoch, P., & Zhu, Z. L. (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry*, 35(1), 75–139.

Hurlbert, S. H. (1971). The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4), 577–586.

Jahan, S., & Singh, A. (2023). The role of phytoplankton in the environment and in human life: A review. *Basic and Applied Science Journal*, 41(2), 379–398. <https://doi.org/10.29072/basjs.20230212>

Jin, J., Liu, S. M., Ren, J. L., Liu, C. G., Zhang, J., Zhang, G. L., & Huang, D. J. (2013). *Nutrient dynamics and coupling with phytoplankton species composition during the spring blooms in the Yellow Sea. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 97, 16–32.

- Kholssi, R., Lougraimzi, L., & Moreno-Garrido, I. (2023). Influence of salinity and temperature on the growth, productivity, photosynthetic activity and intracellular ROS of two marine microalgae and cyanobacteria. *Marine Environmental Research*, 186, 105932.  
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.105932>
- Leong, S., Lim, C. Y., Chew, L. P., Kok, J. W., & Teo, S. L. M. (2015). Three new records of dinoflagellates in Singapore's coastal waters, with observations on environmental conditions associated with microalgal growth in the Johor Straits. *Raffles Bulletin of Zoology, Supplement 31*, 24–36.
- Niyomsilpchai, T., Kornkanitnan, N., Saisahat, R., Somboon, S., & Chalermwut, J. (2023). Variation and relationship between water qualities and phytoplankton along the coast of the upper Gulf of Thailand. *Thai Science and Technology Journal*, 31(2), 82-104 (in Thai)
- Paerl, H. W., Hall, N. S., & Calandrino, E. S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic change. *Science of the Total Environment*, 409(10), 1739–1745.
- Peierls, B. L., Caraco, N. F., Pace, M. L., & Cole, J. J. (1991). Human influence on river nitrogen. *Nature*, 350(6317), 386–387.
- Pollution Control Department-PCD. (2006). *Surface Water Quality Standards & Criteria in Thailand*. Ministry of Science, Technology and Environment. (in Thai)
- Reguera, B., Velo-Suárez, L., Raine, R., & Park, M. G. (2014). Dinophysins toxins: Causative organisms, distribution and fate in shellfish. *Marine Drugs*, 12(1), 394–461.
- Smith V.H., Tilma G.D., & Nekola J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100 (1999),179-196.
- Strickland, J.D.H., & Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fishery Research Board of Canada, Ottawa.

Valenzuela-Sanchez, C. G., Pasten-Miranda, N. M. A., Enriquez-Ocana, L. F., Barraza-Guardado, R. H., Valdez-Holguin, J. E., & Martinez-Cordova, L. R. (2021). Phytoplankton composition and abundance as indicators of aquaculture effluents impact in coastal environments of mid Gulf of California. *Heliyon*, 7(2), e06203. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06203>

Wongrat, L. (1999). *Phytoplankton*, Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Wongrat, L., & Boonyapiwat, S. (2003). *Manual of Sampling and Analytical Methods of Plankton*, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Wu, R. S. S., Wo, K. T., & Chiu, J. M. Y. (2012). Effects of hypoxia on growth of the diatom *Skeletonema costatum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 420–421, 65–68.