



การประมาณค่ากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน Estimation of Primary Productivity of Phytoplankton in the Inner Gulf of Thailand

ปรียานูช เจริญสุข¹, สุธาพร บุญญเจตน์พงษ์^{1*}, ปราโมทย์ โสจิสุภร² และ ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์¹
Preyanut Jaroensuk¹, Sutaporn Bunyajetpong^{1*}, Pramot Sojisuporn² and Thaithaworn Lirdwitayaprasit¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

² Aquatic Resources Research Institute, Chulalongkorn University

Received : 21 April 2021

Revised : 24 May 2021

Accepted : 3 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของน้ำทะเลผิวน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายของขวดสว่างและขวดมืด พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.47-116.88 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยบริเวณปากแม่น้ำมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และลดลงบริเวณชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว ตามลำดับ (41.12 ± 29.90 20.59 ± 6.40 8.82 ± 5.23 3.43 ± 1.46 และ 0.47 ± 0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลา พบว่า ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และลดลงในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน ตามลำดับ (19.89 ± 17.29 16.94 ± 9.67 และ 13.73 ± 3.94 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืชในเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ด้วยวิธีคาร์บอน-13 พบว่า กำลังการผลิตขั้นต้นของ (1) ไมโครแพลงก์ตอนพืช (2) นาโนแพลงก์ตอนพืช และ (3) พิโคแพลงก์ตอนพืช ในบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันตก และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (1) 4.17 0.61 0.17 (2) 1.68 0.25 0.06 และ (3) 1.40 0.66 0.28 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยไมโครแพลงก์ตอนพืช และนาโนแพลงก์ตอนพืช มีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นมากบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงบริเวณชายฝั่งตะวันตก และบริเวณปากอ่าว ตามลำดับ ส่วนพิโคแพลงก์ตอนพืชมีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นในทิศทางตรงกันข้าม แม้พิโคแพลงก์ตอนพืชจะมีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นที่น้อยบริเวณปากแม่น้ำ แต่ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (PP/Chl a) ของพิโคแพลงก์ตอนพืช มีค่าสูงกว่าไมโครแพลงก์ตอนพืชและนาโนแพลงก์ตอนพืช ในทุกสถานีและพื้นที่ โดยมีค่า PP/Chl a อยู่ในช่วง 7.35-92.11 0.76-33.67 และ 0.80-8.65 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ : กำลังการผลิตขั้นต้น ; คลอโรฟิลล์ ; แพลงก์ตอนพืช ; อ่าวไทยตอนใน



Abstract

The study of primary productivity of surface seawater in the inner Gulf of Thailand using O_2 light-dark bottle method was conducted during June 2017, October 2017 and April 2018. The primary productivity was in the range of 0.47 to 116.88 $mg\ C\ m^{-3}\ h^{-1}$. Its average was highest in the river-mouth region and declined toward the east coast, the west coast, the central region and the open region (41.12 ± 29.90 20.59 ± 6.40 8.82 ± 5.23 3.43 ± 1.46 and 0.47 ± 0.00 $mg\ C\ m^{-3}\ h^{-1}$). For seasonal primary productivity, its average was highest in the changing-monsoon season and declined toward the southwest monsoon and the summer (19.89 ± 17.29 16.94 ± 9.67 and 13.73 ± 3.94 $mg\ C\ m^{-3}\ h^{-1}$). Furthermore, the investigation of size-fractionated primary productivity with ^{13}C method was carried out during April 2018. The result revealed that its average of (a) microphytoplankton, (b) nanophytoplankton and (c) picophytoplankton in the river-mouth region, the west coast and the open region were (a) 4.17 0.61 0.17, (b) 1.68 0.25 0.06 and (c) 1.40 0.66 0.28 $mg\ C\ m^{-3}\ h^{-1}$, respectively. The proportion of primary productivity of microphytoplankton and nanophytoplankton was high in the river-mouth region and declined toward the west coast and the open region whereas the reverse was true for picophytoplankton. Although, picophytoplankton contributed the low proportion of primary productivity at the river-mouth region, but its primary productivity per chlorophyll *a* unit (PP/Chl *a*) was higher than that of microphytoplankton and nanophytoplankton ($7.35-92.11$, $0.76-33.67$ and $0.80-8.65$ $mg\ C\ mg\ Chl\ a^{-1}\ h^{-1}$) in every station and region.

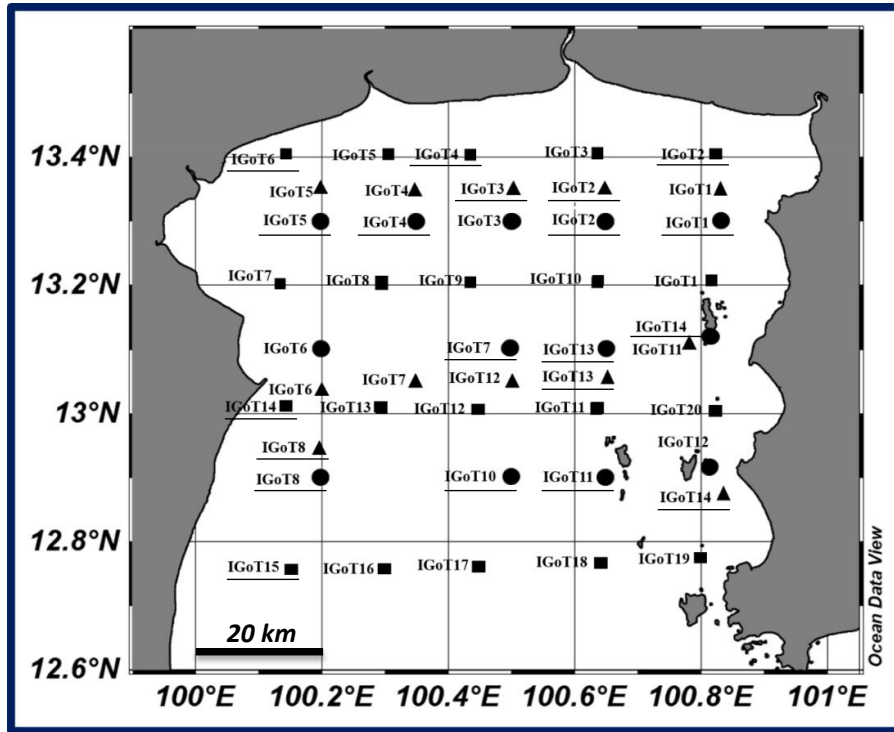
Keywords : primary productivity ; chlorophyll ; phytoplankton ; inner Gulf of Thailand

บทนำ

อ่าวไทยตอนในหรืออ่าวไทยรูปตัว “ก” มีขนาดประมาณ 100×100 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตร ชายฝั่งตะวันออกมีความลึกมากกว่าชายฝั่งตะวันตก และเป็นปากแม่น้ำขนาดใหญ่ ที่รองรับน้ำจืดจากแม่น้ำสำคัญ 4 สาย คือ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง (Sojisuporn *et al.*, 2019) บริเวณชายฝั่งด้านบนของอ่าวไทยตอนในปกคลุมด้วยป่าชายเลน จึงเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ แหล่งอาหาร ที่อยู่อาศัย และที่หลบภัยของสัตว์น้ำที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากมาย โดยผู้ผลิตขั้นต้นของสัตว์น้ำเหล่านี้ ทั้งจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยง คือ แพลงก์ตอนพืช (Round, 1984) ก่อนจะถ่ายทอดพลังงานไปยังผู้บริโภคลำดับถัดไป ในห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหาร นอกจากนี้ แพลงก์ตอนพืชยังเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (Round, 1984) และประเมินศักยภาพการผลิตทรัพยากรสัตว์น้ำ (Lursinsap *et al.*, 1986) ดังนั้น การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนในจึงมีความสำคัญ

แพลงก์ตอนพืชสามารถแบ่งตามขนาดได้ 3 กลุ่ม คือ ไมโครแพลงก์ตอนพืช (20-200 ไมโครเมตร) นาโนแพลงก์ตอนพืช (2.0-20 ไมโครเมตร) และพิโคแพลงก์ตอนพืช (0.2-2.0 ไมโครเมตร) มีรายงานการศึกษา พบว่า การกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาดมีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนสายใยอาหารและโครงสร้างสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ (Varela *et al.*, 2002) นอกจากนี้ ยังพบว่า บริเวณชายฝั่งซึ่งสารอาหารมีปริมาณสูงมักพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่นเป็นไมโครแพลงก์ตอนพืช ส่วนในบริเวณทะเลเปิดซึ่งสารอาหารมีปริมาณน้อยมักพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่นเป็นพิโคแพลงก์ตอนพืช (Decembrini *et al.*, 2009) ดังนั้น การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนในจึงเป็นที่น่าสนใจศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเชิงลึกในระบบนิเวศต่อไป

การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นในทะเลสามารถทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป (Cullen, 2001) วิธีการศึกษาที่มีรายงานในประเทศไทย อาทิ การเทียบอัตราส่วนของรงควัตถุ (Lursinsap *et al.*, 1986) การประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์เอ (Phromthong, 1999) การวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (Boonkwan, 2013) วิธีคาร์บอน-14 (Musikasung *et al.*, 1999) และวิธีคาร์บอน-13 (Jaroensuk, 2018) งานวิจัยนี้ (1) ใช้วิธีการวัดปริมาณออกซิเจนละลายในการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้น เนื่องจาก เป็นวิธีที่ต้นทุนไม่สูง และเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงโดยตรง เพื่อประมาณค่ากำล้างการผลิตขั้นต้น แต่ต้องใช้ความระมัดระวังในการวิเคราะห์ เพราะปริมาณออกซิเจนในขวดมืดและขวดสว่างมีความแตกต่างกันอย่างมาก เมื่อเทียบกับปริมาณออกซิเจนในขวดเริ่มต้น (Cullen, 2001) และ (2) ใช้วิธีคาร์บอน-13 ในการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาด เพื่อศึกษาประชาคมแพลงก์ตอนพืชในบริเวณต่างๆ ของอ่าวไทยตอนใน แม้วิธีดังกล่าวจะเป็นวิธีที่ต้นทุนสูง ความไวในการวิเคราะห์ต่ำกว่าวิธีคาร์บอน-14 และต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการวิเคราะห์ (เครื่อง Isotope-Ratio Mass Spectrometry) แต่เป็นวิธีที่วัดกำล้างการผลิตขั้นต้นโดยตรง เช่นเดียวกับวิธีคาร์บอน-14 และ ไม่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสี จึงปลอดภัยสำหรับผู้วิเคราะห์ (Cullen, 2001) โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นรวม และกำล้างการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวไทยตอนใน ที่ทำการศึกษากำลัการผลิตชั้นต้น (—) ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (▲) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (●) และฤดูร้อน (■)

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษาและปัจจัยสภาพแวดล้อม

สถานีเก็บตัวอย่างเป็นบริเวณอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 1) ใน 3 ช่วงเวลา คือ (1) ต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (วันที่ 5-8 มิถุนายน พ.ศ. 2560) จำนวน 12 สถานี (2) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (วันที่ 16-19 ตุลาคม พ.ศ. 2560) จำนวน 13 สถานี และ (3) ฤดูร้อน (วันที่ 23-26 เมษายน พ.ศ. 2561) จำนวน 20 สถานี โดยสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ช่วงเวลา ไม่ซ้อนทับกัน และจำนวนสถานีไม่เท่ากัน เนื่องจาก สภาพอากาศ และความพร้อมของเรือสำรวจ โดยในเบื้องต้น คณะผู้วิจัยได้วางแผนเก็บตัวอย่าง จำนวน 20 สถานี เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนใน โดยใช้เรือสำรวจจุฬาลงกรณ์ แต่เรือสำรวจดังกล่าวไม่พร้อมใช้งาน ในการสำรวจ 2 ครั้งแรก จึงใช้เรือวิจัยเกษตรศาสตร์ ทำให้สถานีเก็บตัวอย่างน้อยกว่าแผนที่วางไว้ ร่วมกับสภาพอากาศที่แปรปรวน พัดสถานีเก็บตัวอย่างจึงมีการปรับเปลี่ยนตามสภาพอากาศ

ปัจจัยสภาพแวดล้อมของสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวไทยตอนใน (ตารางที่ 1) ได้แก่ ความลึก อุณหภูมิ ความเค็ม ค่าพีเอช ความเข้มแสง ความขุ่น ปริมาณออกซิเจน และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ทำการวัดค่าด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (JFE Advantech) ส่วนความโปร่งแสงของน้ำ ทำการวัดค่าด้วยแผ่นวัดความโปร่งแสง (Secchi disc) โดยทำการวัดค่าปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ดังกล่าว รวมทั้งการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร ในทุกสถานี ที่ระดับความลึกต่างๆ และ



ทำการวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้น จำนวน 20 สถานี ที่ระดับความลึก 0.5 เมตร คือ (1) ต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จำนวน 5 สถานี จาก 12 สถานี (IGoT 2 3 8 13 และ 14) (2) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม จำนวน 10 สถานี จาก 13 สถานี (IGoT 1 2 4 5 7 8 10 11 13 และ 14) และ (3) ฤดูร้อน จำนวน 5 สถานี จาก 20 สถานี (IGoT 2 4 6 14 และ 15) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ แยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช ในฤดูร้อน จำนวน 5 สถานี จาก 20 สถานี (IGoT 2 4 6 14 และ 15) และได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามพื้นที่ศึกษา คือ บริเวณปากแม่น้ำ บริเวณชายฝั่งตะวันออก บริเวณชายฝั่งตะวันตก บริเวณกลางอ่าว และบริเวณปากอ่าว (ตารางที่ 1 ภาพที่ 2 และภาพที่ 3)

การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

เก็บน้ำทะเลด้วยกระบอกเก็บน้ำ ที่ 3 ระดับความลึก คือ น้ำชั้นบน (ระดับความลึก 0.5 เมตร) น้ำชั้นกลาง และน้ำชั้นล่าง จากนั้นกรองน้ำทะเลด้วยกระดาษกรอง GF/F เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร 5 ชนิด คือ ซิลิเกต (SiO_4) ฟอสเฟต (PO_4^{3-} ; Dissolved Inorganic Phosphorus: DIP) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เพื่อคำนวณหา DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen = $\text{NH}_3 + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) โดยใช้วิธีวิเคราะห์มาตรฐาน (Hansen & Koroleff, 1999) ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอาหารในน้ำทะเล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Metash UV/VIS spectrophotometer, V-5100) เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารอาหารแต่ละชนิด

การวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้น

เก็บน้ำทะเลด้วยกระบอกเก็บน้ำ ที่ระดับความลึก 0.5 เมตร ต่อสายยางลงในขวดบีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD) ขนาด 300 มิลลิลิตร ซึ่งทราบปริมาตรแน่นอน โดยไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในสายยาง และขวดบีโอดีแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย ขวดเริ่มต้น ขวดสว่าง และขวดมืด อย่างละ 1 ขวด จากนั้นทำการตั้งออกซิเจนละลายในขวดเริ่มต้นทันที ตามวิธีไอโอดิเมตริกไตเตรชัน (iodometric titration) ของวินค์เลอร์ (Winkler method) (Strickland & Parsons, 1972) สำหรับขวดสว่างและขวดมืดนำไปบ่มในภาชนะบ่ม ซึ่งมีความเข้มแสงโดยรวม 33.75 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ แสงสีขาว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และทำการตั้งออกซิเจนละลายเช่นเดียวกับขวดเริ่มต้น โดยจะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีสไฮดรอกไซด์ ($\text{Mn}(\text{OH})_3$) ตะกอนดังกล่าวจะเสถียรเมื่อเก็บในที่มืดและเย็นได้ 10-12 ชั่วโมง เมื่อพร้อมทำการวิเคราะห์ จึงเติมกรดเข้มข้นลงในน้ำตัวอย่างเพื่อละลายตะกอน และทำการไตเตรทไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานทูตียูมิไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (3 ซ้ำ) โดยใช้เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Metrohm 776 Dosimat titrator) ในการไตเตรท ทั้งนี้ สารละลายมาตรฐานทูตียูมิไฮโอซัลเฟตได้หาความเข้มข้นที่แน่นอน ด้วยการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานปรัสมูมิไฮโอเดท (KIO_3 หรือ $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$) จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนละลายในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในหน่วยมิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามสมการที่ (1) (Wetzel & Likens, 2000)

$$\text{กำลังการผลิตขั้นต้น (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)} = [(\text{LB} - \text{DB}) \times 375] / (\text{PQ} \times \text{t}) \quad (1)$$



เมื่อ	LB	= ปริมาณออกซิเจนละลายของขวดสว่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	DB	= ปริมาณออกซิเจนละลายของขวดมืด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	375	= อัตราส่วนโดยโมลของคาร์บอนต่อออกซิเจน และปรับหน่วยจากลิตร เป็นลูกบาศก์เมตร (12 mg C / 32 mg O ₂ x 1,000)
	PQ	= โมเลกุลของออกซิเจนที่เกิดขึ้นระหว่างการสังเคราะห์แสง ต่อโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซึ่มไปใช้ โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1.2
	t	= ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่าง (ชั่วโมง)

การวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช

เก็บน้ำทะเลด้วยกระบอกเก็บน้ำ ที่ระดับความลึก 0.5 เมตร และกรองน้ำทะเลผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 250-500 ไมโครเมตร เพื่อแยกแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดใหญ่ออก จากนั้น ทำการวิเคราะห์ค่าอัลคาไลน์ (alkalinity) โดยวัดค่าพีเอช (pH) ก่อนและหลังเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิตร ลงในน้ำทะเลปริมาตร 100 มิลลิตร และคำนวณหาค่าอนินทรีย์คาร์บอนรวม (total dissolve inorganic carbon) (Parsons *et al.*, 1984) แล้วจึงเติมสารละลายไอโซโทปเสถียรไฮโดรเจน-2 ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนรวมในน้ำทะเล (Hama *et al.*, 1983) ลงในน้ำทะเล ปริมาตร 1 ลิตร ที่อยู่ในขวดบ่มตัวอย่าง (ขวดสว่างและขวดมืด) ซึ่งผ่านการฆ่ากรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และล้างด้วยน้ำกลั่น แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย ขวดเริ่มต้น ขวดสว่าง และขวดมืด อย่างละ 2 ขวด จากนั้น ทำการกรองน้ำตัวอย่างในขวดเริ่มต้นทันที สำหรับขวดบ่มให้นำไปบ่มในภาชนะบ่ม ซึ่งมีความเข้มแสงโดยรวม 33.75 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ แสงสีขาว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง และทำการกรองน้ำตัวอย่างเช่นเดียวกับขวดเริ่มต้น โดยกรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 20 ไมโครเมตร ชะแพลงก์ตอนพืชที่ติดที่ถุงกรองแพลงก์ตอนลงบนกระดาษกรอง GF/F เพื่อแยกไมโครแพลงก์ตอนพืช และนำน้ำทะเลที่ผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนดังกล่าว มาผ่านกระดาษกรอง GF/D และ GF/F เพื่อแยกนาโนแพลงก์ตอนพืช และพีโคแพลงก์ตอนพืช ตามลำดับ จากนั้น ทำการกำจัดอนินทรีย์คาร์บอนออก โดยหยดกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จำนวน 2-3 หยด ลงบนกระดาษกรอง และทำการชะด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้กระดาษกรองมีสภาพเป็นกลาง ทำเช่นนี้ 3 รอบ แล้วเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (Nishibe *et al.*, 2015) เมื่อพร้อมทำการวิเคราะห์ จึงนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน (Particulate Organic Carbon: POC) และเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน-13 ในอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยเครื่อง Isotope-Ratio Mass Spectrometry (IRMS; PDZ Europa 20-20 isotope ratio mass spectrometer, Sercon Limited) จากนั้น คำนวณหาค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในหน่วย มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามสมการที่ (2) (Hama *et al.*, 1983)



$$\text{กำลังการผลิตขั้นต้น (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)} = C(a_{is} - a_{ns}) / t(a_{ic} - a_{ns}) \quad (2)$$

- เมื่อ C = ปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างที่บ่มแล้ว
(มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตร)
- a_{is} = เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน-13 ในตัวอย่างที่บ่มแล้ว
- a_{ic} = เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน-13 ในอินทรีย์คาร์บอนรวม
- a_{ns} = เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน-13 ในตัวอย่างธรรมชาติ

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช

เก็บน้ำทะเลด้วยกระบอกเก็บน้ำ ที่ระดับความลึก 0.5 เมตร และกรองน้ำทะเลผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 250-500 ไมโครเมตร เพื่อแยกแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดใหญ่ออก โดยน้ำทะเลดังกล่าวเป็นมวลน้ำทะเลเดียวกับที่ทำการศึกษาวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช จากนั้น นำน้ำทะเลปริมาตร 100-250 มิลลิลิตร กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 20 ไมโครเมตร โดยปริมาตรน้ำทะเลที่กรองขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช ชะแพลงก์ตอนพืชที่ติดที่ถุงกรองแพลงก์ตอนลงบนกระดาษกรอง GF/F เพื่อแยกไมโครแพลงก์ตอนพืช และนำน้ำทะเลที่ผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนดังกล่าวมาผ่านกระดาษกรอง GF/D และ GF/F เพื่อแยกนาโนแพลงก์ตอนพืช และพีโคแพลงก์ตอนพืช ตามลำดับ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ห่อกระดาษกรองด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในห้องปฏิบัติการทันที เมื่อขึ้นจากเรือสำรวจ

ตัดกระดาษกรองดังกล่าวเป็น 4 ส่วน ใส่ในหลอดพลาสติกฝาเกลียว (Falcon tube) ที่บีบแสง ขนาด 15 มิลลิลิตร และเติมอะซิโตนที่ความเข้มข้น 90% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้น นำไปสกัดด้วยคลื่นความถี่สูง ในอ่างโซนิเคเตอร์ (sonicator) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14-15 ชั่วโมง ก่อนทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำสารสกัดไปวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (PerkinElmer LS 55 Luminescence spectrometer) เพื่อหาผลต่างของความเข้มแสงก่อนและหลังหยดกรดไฮโดรคลอริก 1.2 โมลาร์ จำนวน 2-3 หยด เทียบกับกราฟมาตรฐานคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งสร้างกราฟระหว่างความเข้มแสง และผลต่างของความเข้มแสงก่อนและหลังหยดกรด ของสารมาตรฐานคลอโรฟิลล์เอ และคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวได้ปรับเปลี่ยนจากวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน (Strickland & Parsons, 1972)

ตารางที่ 1 ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลผิวหน้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษาทำการผลิตขั้นต้น ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (▲) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (●) และฤดูร้อน (■)

พื้นที่	ฤดู	สถานี	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	pH	Light (μmol /m ² /s)	Secchi depth (m)	Turb. (NTU)	DO (mg/l)	Chl <i>a</i> (mg /m ³)	SiO ₄ (μM)	DIP (μM)	DIN (μM)
ปากแม่น้ำ	▲	IGoT2	15.0	30.50	14.07	8.35	1200	n/a	3.82	6.39	3.19	69.45	2.26	30.12
		IGoT3	11.3	30.95	18.98	8.36	510	n/a	2.71	6.82	3.09	125.52	3.30	27.24
	●	IGoT1	16.0	31.45	18.80	8.44	1098	2.5	1.38	8.84	5.48	31.58	0.24	6.72
		IGoT2	19.6	30.96	19.48	8.68	90	1.5	2.48	11.17	15.74	32.75	0.38	8.70
		IGoT4	11.7	30.04	23.82	8.20	70	2.5	0.91	4.95	3.52	70.90	0.71	14.97
	■	IGoT5	10.8	30.14	22.65	7.80	129	1.0	3.97	3.93	4.53	94.49	1.41	22.69
		IGoT2	7.3	32.43	26.35	8.76	1600	2.2	3.26	10.81	7.36	0.44	2.21	2.83
ชายฝั่ง	■	IGoT4	7.0	31.47	28.23	8.39	380	1.5	2.67	6.28	3.11	43.71	3.07	4.36
		IGoT6	6.5	30.68	28.35	8.31	525	1.5	3.62	5.84	1.64	51.94	0.31	2.98
		IGoT14	14.0	30.70	31.74	8.19	351	3.5	0.89	5.74	1.65	3.19	0.60	4.36
ตะวันออก	●	IGoT14	24.2	30.81	20.47	8.63	101	4.0	0.81	7.90	1.92	3.12	14.00	2.38
ชายฝั่ง	●	IGoT8	21.0	30.76	32.20	8.14	208	n/a	1.15	5.70	2.28	10.02	0.29	2.21
		IGoT8	23.0	31.22	28.29	8.24	915	5.0	0.30	5.94	1.45	35.20	0.42	7.75
		IGoT14	16.8	30.29	31.68	8.32	300	4.5	0.30	6.16	0.91	15.54	0.00	3.25
กลางอ่าว	●	IGoT13	22.3	30.79	32.08	8.23	335	3.0	0.52	6.36	1.48	1.38	0.15	2.29
		IGoT7	18.8	30.28	23.62	8.42	254	3.0	0.52	6.28	1.75	26.41	0.38	6.59
		IGoT13	20.4	30.28	22.12	8.55	344	4.0	0.43	7.01	1.61	8.77	0.10	2.31
		IGoT10	24.2	30.09	22.03	8.55	1009	5.0	0.33	6.60	1.28	7.45	0.16	2.23
ปากอ่าว	■	IGoT11	21.4	30.04	23.75	8.49	27	6.5	0.24	6.55	1.77	14.13	0.11	3.49
		IGoT15	20.7	30.87	32.31	8.38	1000	6.0	0.33	6.39	0.21	1.20	0.00	3.04

หมายเหตุ : Depth (m), Temp. (°C), Salinity (psu), pH, Light (μmol/m²/s), Secchi depth (m), Turb. (NTU), DO (mg/l), Chl (mg/m³), SiO₄ (μM), DIP (μM) และ DIN (μM) คือ ความลึก (เมตร) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความเค็ม (พีเอสยู) ค่าพีเอช ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) ความโปร่งแสง (เมตร) ความขุ่น (เอ็นทียู) ปริมาณออกซิเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณซิลิเกต (ไมโครโมลต่อลิตร) ปริมาณฟอสเฟต (ไมโครโมลต่อลิตร) และปริมาณไนโตรเจน (ไมโครโมลต่อลิตร) ตามลำดับ และ n/a คือ ไม่สามารถทำการวัดค่าได้ เพราะสภาพอากาศที่แปรปรวน

ผลการวิจัย

ปัจจัยสภาพแวดล้อม

ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลผิวหน้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษาทำการผลิตขั้นต้น ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) และฤดูร้อน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2561) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ความลึกของสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 7.0-24.2 เมตร และความลึกบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.7 19.1 20.3 21.4 และ 20.7 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเลผิวหน้าตามฤดูกาล พบว่า ฤดูร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ 31.15 องศาเซลเซียส ส่วนต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.74 และ 30.53 องศา

เขตเขี่ยส ตามลำดับ ส่วนความเค็มของน้ำทะเลผิวหน้าขึ้นกับฤดูกาล ปริมาณน้ำท่า และระยะห่างจากปากแม่น้ำ (1) เมื่อพิจารณาสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำ ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ลมฝน) มีความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลต่ำสุด คือ 16.53 พีเอสยู ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมจากลมฝนเป็นลมหนาว (ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ร่วมกับสถานีเก็บตัวอย่างที่ห่างจากปากแม่น้ำมากขึ้น ส่งผลให้น้ำทะเลมีความเค็มเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 21.19 พีเอสยู และในฤดูร้อน ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำสายหลัก (แม่น้ำบางปะกง 0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แม่น้ำเจ้าพระยา 285 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และแม่น้ำท่าจีน 61 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) (Sojisuporn *et al.*, 2019) ไหลลงสู่อ่าวไทยในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับ 2 ช่วงเวลา ข้างต้น แม้ปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำแม่กลองจะมาก (1056.71 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) แต่สถานีเก็บตัวอย่างในฤดูกาลนี้ อยู่เหนือปากแม่น้ำแม่กลอง ส่งผลให้น้ำทะเลมีความเค็มเฉลี่ยสูงสุด คือ 27.64 พีเอสยู ดังจะเห็นว่า ในบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูกาลและปริมาณน้ำท่าส่งผลต่อความเค็มของน้ำทะเลเป็นอย่างมาก แม้สถานีเก็บตัวอย่างในฤดูกาลนี้ จะมีระยะห่างจากปากแม่น้ำน้อยสุด เมื่อเทียบกับอีก 2 ช่วงเวลา ข้างต้น และ (2) สถานีเก็บตัวอย่างที่น้ำทะเลมีความเค็มสูงสุด คือ สถานี IGoT15 (32.31 พีเอสยู) เนื่องจาก อยู่บริเวณปากอ่าว และมีระยะห่างจากปากแม่น้ำมากที่สุด ประมาณ 82 กิโลเมตร

ค่าพีเอชของน้ำทะเลผิวหน้าอยู่ในช่วง 7.80-8.76 และสถานีเก็บตัวอย่างที่น้ำทะเลมีค่าพีเอชต่ำสุด คือ สถานี IGoT5 ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (ค่าพีเอช 7.80) ซึ่งอยู่ใกล้ปากแม่น้ำแม่กลอง และปากแม่น้ำเพชรบุรี โดยมีปริมาณน้ำท่าจากแม่น้ำทั้ง 2 สาย อยู่ที่ 215.11 และ 59.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ (Sojisuporn *et al.*, 2019) ส่วนความเข้มแสงของน้ำทะเลผิวหน้าขึ้นกับช่วงเวลาและสภาพอากาศขณะเก็บตัวอย่าง เมื่อพิจารณาความโปร่งแสงของน้ำทะเลผิวหน้า พบว่าความโปร่งแสงบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 3.8 4.8 4.3 และ 6.0 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์ผกผันกับความขุ่นของน้ำทะเลผิวหน้า โดยความขุ่นในแต่ละบริเวณดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.76 0.85 0.58 0.41 และ 0.33 เอ็นทียู ตามลำดับ กล่าวคือ บริเวณปากแม่น้ำที่มีความขุ่นของน้ำทะเลมาก ความโปร่งแสงมีค่าน้อย และบริเวณปากอ่าวที่มีความขุ่นของน้ำทะเลน้อย ความโปร่งแสงมีค่ามาก

ปริมาณออกซิเจนและปริมาณคลอโรฟิลล์เอชของน้ำทะเลผิวหน้า มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน เนื่องจาก มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งมีความหนาแน่นมากบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่ง และมีความหนาแน่นน้อยลงบริเวณกลางอ่าวและปากอ่าว (Jaroensuk, 2018) โดยปริมาณออกซิเจนบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.23 6.82 5.93 6.56 และ 6.39 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์เอชในแต่ละบริเวณดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.30 1.79 1.55 1.58 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณออกซิเจนของน้ำทะเลผิวหน้ายังขึ้นอยู่กัปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ อาทิ ความลึก อุณหภูมิ และสภาพภูมิอากาศ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนระหว่างวิธีวินด์เลอร์ (Winkler method) และเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (JFE Advantech) บริเวณน้ำชั้นบน น้ำชั้นกลาง และน้ำชั้นล่าง ดังแสดงในภาพที่ 4 (เอกสารเพิ่มเติม) พบว่าทั้งสองวิธีให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าในทิศทางเดียวกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ของผลต่างทั้งสองวิธี อยู่ที่ ± 0.73 แต่เครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (JFE Advantech) ไม่สามารถวัดปริมาณออกซิเจน หรือวัดได้ในปริมาณต่ำ เมื่อปริมาณออกซิเจนมีค่าต่ำกว่า 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามวิธีวินด์เลอร์ (Winkler method) ซึ่งพบในน้ำชั้นกลางและน้ำชั้นล่าง (ภาพที่ 4 ข และ ค; เอกสารเพิ่มเติม) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ปริมาณออกซิเจนของน้ำทะเลผิวหน้า ตามตารางที่ 1

ได้รายงานค่าจากเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (JFE Advantech) เพื่อให้สอดคล้องกับปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งวัดค่าจากเครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปรเช่นกัน ส่วนปริมาณออกซิเจนของน้ำชั้นบน น้ำชั้นกลาง และน้ำชั้นล่าง ของทั้ง 3 ช่วงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 5 (เอกสารเพิ่มเติม) ได้รายงานค่าจากวิธีวินด์เลอร์ (Winkler method) และพบว่า (1) ปริมาณออกซิเจนของทั้ง 3 ช่วงเวลา ลดลงตามระดับความลึกน้ำ (2) ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณออกซิเจนของน้ำชั้นบน มีค่าสูงบริเวณปากแม่น้ำฝั่งตะวันตก (8.5 ไมโครกรัมต่อลิตร) เมื่อพิจารณาปริมาณออกซิเจนของน้ำชั้นกลางบริเวณชายฝั่งตะวันตก พบว่า มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (1 ไมโครกรัมต่อลิตร) และเป็นมวลน้ำคนละก้อนกับน้ำชั้นบน โดยมวลน้ำก้อนดังกล่าวเคลื่อนจากฝั่งตะวันตกมาทางตะวันออก ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (0 ไมโครกรัมต่อลิตร) และหายไปใต้อู้อัน และ (3) ในฤดูร้อน ปริมาณออกซิเจนของน้ำชั้นบนมีค่าสูงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง เนื่องจาก มีความหนาแน่นของไมโครแพลงก์ตอนพืชสูง (Jaroensuk, 2018)

ปริมาณซิลิเกต ปริมาณฟอสฟอรัส (DIP) และปริมาณไนโตรเจน (DIN) ของน้ำทะเลผิวหน้าอยู่ในช่วง 0.44-125.52 0.00-14.00 และ 2.21-30.27 ไมโครโมลต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณสารอาหารทั้ง 3 ชนิด ดังกล่าว ในบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 57.86 3.15 20.26 11.63 1.20 ไมโครโมลต่อลิตร 1.54 7.30 0.24 0.18 0.00 ไมโครโมลต่อลิตร และ 13.40 3.37 4.41 3.39 3.04 ไมโครโมลต่อลิตร ตามลำดับ โดยสารอาหารทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสูงสุดบริเวณปากแม่น้ำ และมีปริมาณต่ำสุดบริเวณปากอ่าว ยกเว้นปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย ในบริเวณชายฝั่งตะวันออก (7.30 ไมโครโมลต่อลิตร) ซึ่งมีค่าสูงโดดเด่นกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจาก สถานี IGoT14 ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงถึง 14.00 ไมโครโมลต่อลิตร เพราะอยู่บริเวณเกาะสีชัง ซึ่งเป็นแหล่งชุมชน

กำลังการผลิตขั้นต้น

กำลังการผลิตขั้นต้น (PP) และกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (PP/Chl a) ของแต่ละสถานีและพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.47-116.88 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 2 ก) และ 0.93-21.18 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง (ภาพที่ 2 ข) ตามลำดับ และในบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 41.12±29.90 20.59±6.40 8.82±5.23 3.43±1.46 0.47±0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 2 ค) และ 9.88±6.06 11.41±2.36 5.52±2.76 2.20±0.95 2.24±0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง (ภาพที่ 2 ง) ตามลำดับ โดยกำลังการผลิตขั้นต้นเฉลี่ย ใน 3 ช่วงเวลา มีค่าในทิศทางเดียวกัน คือ บริเวณปากแม่น้ำมีค่าสูงสุด และมีค่าลดลงบริเวณชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว ตามลำดับ ส่วนค่า PP/Chl a เฉลี่ย ใน 3 ช่วงเวลา มีค่ามากในบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งตะวันออก และมีค่าลดลงในบริเวณชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว

เมื่อพิจารณา (1) กำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ ตามช่วงเวลา พบว่า ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม และฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.06±6.14 37.37±8.91 และ 56.17±53.33 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่า ในฤดูร้อนมีค่าที่สูง เนื่องจาก สถานี IGoT2 ซึ่งอยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ณ วันที่เก็บตัวอย่าง มีความหนาแน่นของไมโครแพลงก์ตอนพืชสูง (Jaroensuk, 2018) ส่งผลให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงโดดเด่นกว่าทุกสถานี ถ้าตัดค่ากำลังการผลิตขั้นต้นของสถานีดังกล่าวออก ค่ากำลังการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูร้อน

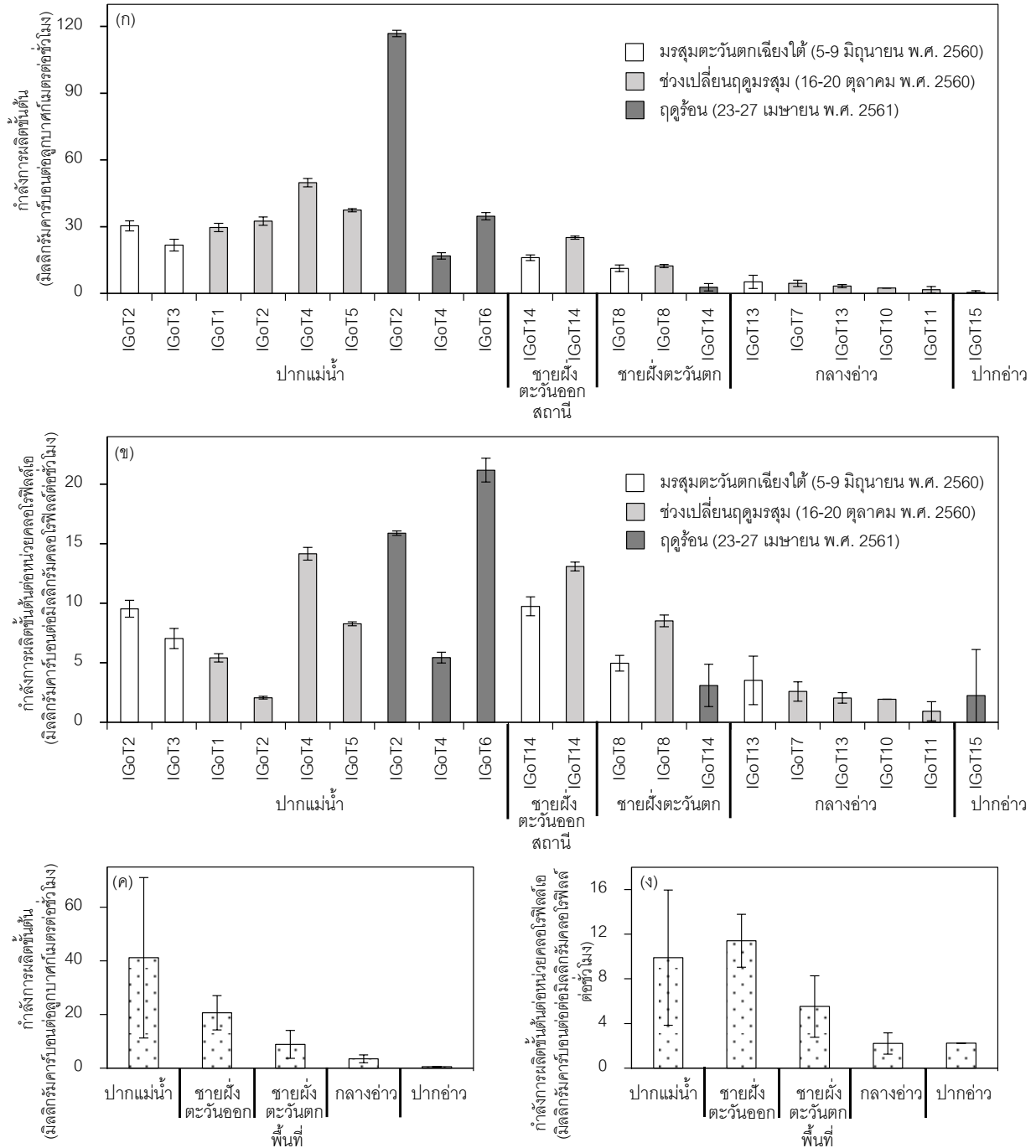


จะอยู่ที่ 25.82 ± 12.61 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับบริเวณชายฝั่งตะวันออกและชายฝั่งตะวันตก กล่าวคือ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมมีค่ากำลังการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยสูงสุด และมีค่าลดลงในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับงานวิจัยก่อนหน้า (Boonkwan, 2013) ที่ศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในเดือนมีนาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552 ซึ่งเทียบเคียงได้กับงานวิจัยนี้ ในฤดูร้อน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2561) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) พบว่า มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ กำลังการผลิตขั้นต้นในฤดูร้อน มีค่าต่ำกว่าในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม และ (2) ส่วนค่า PP/Chl *a* บริเวณปากแม่น้ำ ตามช่วงเวลา พบว่า ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม และฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.28 ± 1.77 7.48 ± 5.12 และ 14.17 ± 8.01 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าในทิศทางตรงกันข้ามกับกำลังการผลิตขั้นต้นเฉลี่ย ตามช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมมีค่า PP/Chl *a* เฉลี่ยต่ำสุด และมีค่าเพิ่มขึ้นในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน ตามลำดับ

กำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช

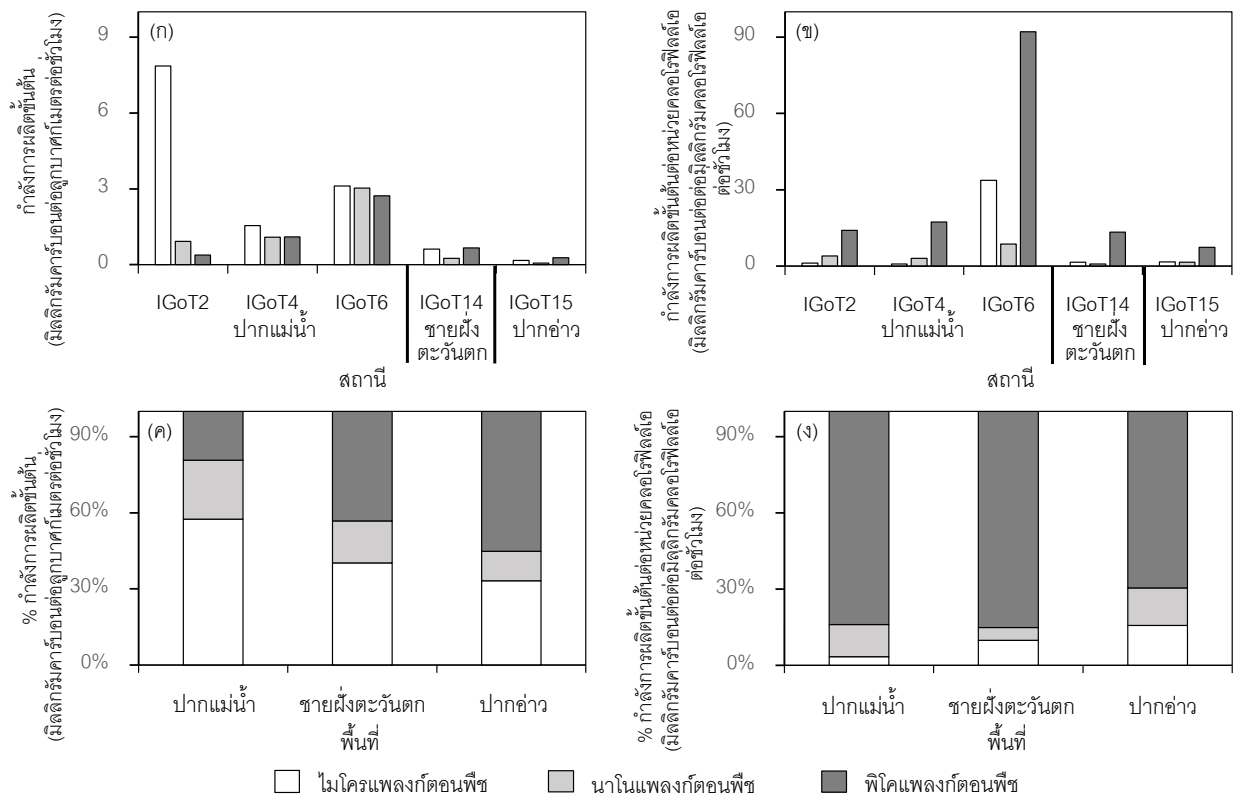
เมื่อพิจารณากำลังการผลิตขั้นต้น และค่า PP/Chl *a* ตามภาพที่ 2 เป็นที่น่าสนใจว่า แพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดโนไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพิโคแพลงก์ตอนพืช เป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่สำคัญในแต่ละบริเวณ แต่วิธีวินด์เลอร์ (Winkler method) ซึ่งวัดปริมาณออกซิเจนจากขวดมืดและขวดสว่าง เพื่อคำนวณค่ากำลังการผลิตขั้นต้น ไม่สามารถหาค่าตามดังกล่าวได้ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีคาร์บอน-13 เพื่อศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช ในฤดูร้อน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2561) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์แยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช เพื่อใช้ในการหาค่า PP/Chl *a* ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า (1) ผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช (ภาพที่ 3 ก) และผลรวมของค่า PP/Chl *a* แยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช (ภาพที่ 3 ข) ของแต่ละสถานี (IGoT2 IGoT4 IGoT6 IGoT14 IGoT15) มีค่าในทิศทางเดียวกันกับกำลังการผลิตขั้นต้นรวม และค่า PP/Chl *a* รวม (ภาพที่ 2 ก และ ข) แม้ค่าจะต่างกันมาก เนื่องจากวิธีวิเคราะห์ต่างกัน (2) กำลังการผลิตขั้นต้นของไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพิโคแพลงก์ตอนพืช อยู่ในช่วง $0.71-7.85$ $0.06-3.03$ และ $0.28-2.72$ มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 3 ก) (3) สถานี IGoT2 บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงที่สุด โดยผู้ผลิตขั้นต้นหลัก คือ ไมโครแพลงก์ตอนพืช (7.85 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) (ภาพที่ 3 ก) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า ที่ศึกษาไมโครแพลงก์ตอนพืช สกุลเด่น และพบว่า ไมโครแพลงก์ตอนพืช *Trichodesmium* sp. และ *Ceratium* sp. มีความหนาแน่นสูงในสถานีดังกล่าว (Jaroensuk, 2018) นอกจากนี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของไมโครแพลงก์ตอนพืชในสถานีดังกล่าว ยังมีค่าสูงที่สุด (6.67 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แต่คลอโรฟิลล์เหล่านี้ มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยที่ต่ำ (1.18 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง) (ภาพที่ 3 ข) (4) กำลังการผลิตขั้นต้นของไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพิโคแพลงก์ตอนพืช ในบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันตก และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.17 0.61 0.17 , 1.68 0.25 0.06 และ 1.40 0.66 0.28 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 3 ก) จะเห็นว่า มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีกำลังการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยมากสุดบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงในบริเวณชายฝั่งตะวันตก และบริเวณปากอ่าวตามลำดับ (5) แต่สัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นของไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพิโคแพลงก์ตอนพืช มีความ

แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (ภาพที่ 3 ค) ไมโครเพลงก์ตอนพืช และนาโนเพลงก์ตอนพืช มีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นมาก บริเวณปากแม่น้ำ และลดลงในบริเวณชายฝั่งตะวันตก และบริเวณปากอ่าว ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กำลังการผลิตขั้นต้นและกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม และฤดูร้อน โดยรายงานค่าตามสถานี (ก และ ข) และพื้นที่ (ค และ ง)

ส่วนพืโคแพลงก์ตอนพืชมีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่า บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งสารอาหารมีปริมาณสูง ผู้ผลิตขั้นต้นหลัก คือ ไมโครแพลงก์ตอนพืช และนาโนแพลงก์ตอนพืช (Iriarte & Purdie, 1994) (6) แม้พืโคแพลงก์ตอนพืชจะมีสัดส่วนกำลังการผลิตขั้นต้นที่น้อยบริเวณปากแม่น้ำ (ภาพที่ 3 ค) แต่คลอโรฟิลล์เอแต่ละหน่วยมีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นที่สูง โดยมีค่า PP/Chl *a* ที่สูงกว่าไมโครแพลงก์ตอนพืช และนาโนแพลงก์ตอนพืช ในทุกสถานี และทุกพื้นที่ (ภาพที่ 3 ข และ ง) (7) ค่า PP/Chl *a* ของไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพืโคแพลงก์ตอนพืช อยู่ในช่วง 0.76-33.67 0.80-8.65 และ 7.35-92.11 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 3 ข) และ (8) ค่า PP/Chl *a* ของพืโคแพลงก์ตอนพืชมีค่ามากบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงในบริเวณชายฝั่งตะวันตก และบริเวณปากอ่าว ตามลำดับ (35.05 13.33 และ 7.35 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง) ส่วนไมโครแพลงก์ตอนพืชมีค่า PP/Chl *a* ในทิศทางตรงกันข้าม (1.42 1.55 และ 1.67 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง) (ภาพที่ 3 ง)



ภาพที่ 3 กำลังการผลิตขั้นต้นและกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ แยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืช บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน โดยรายงานค่าตามสถานี (ก และ ข) และพื้นที่ (ค และ ง)



วิจารณ์ผลการวิจัย

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (1) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตขั้นต้น (ภาพที่ 2 ก) และกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (PP/Chl *a*) (ภาพที่ 2 ข) ของแต่ละสถานี กับปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ (ตารางที่ 1) จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 2; เอกสารเพิ่มเติม) พบว่า กำลังการผลิตขั้นต้นมีความสัมพันธ์กับความลึก อุณหภูมิ ความโปร่งแสง และความขุ่น และค่า PP/Chl *a* มีความสัมพันธ์กับความลึก และความขุ่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแสงแดดเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่อกำลังการผลิตขั้นต้น และค่า PP/Chl *a* อุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อกำลังการผลิตขั้นต้น (Millero, 2006) ส่วนความลึกน้ำมีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ อาทิ สถานีบริเวณปากแม่น้ำที่มีความลึกน้อย กำลังการผลิตขั้นต้นและค่า PP/Chl *a* ก็มาก และ (2) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวของแต่ละพื้นที่ (ตารางที่ 3; เอกสารเพิ่มเติม) จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 4; เอกสารเพิ่มเติม) พบว่า กำลังการผลิตขั้นต้นมีความสัมพันธ์กับความลึก อุณหภูมิ ความเค็ม ความโปร่งแสง ความขุ่น ปริมาณออกซิเจน ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณซิลิเกต ปริมาณไนเตรท ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณแอมโมเนีย และปริมาณไนโตรเจน และค่า PP/Chl *a* มีความสัมพันธ์กับความลึก ความเค็ม ความเข้มแสง ความโปร่งแสง ความขุ่น ปริมาณออกซิเจน ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณฟอสเฟต และอัตราส่วนของปริมาณไนโตรเจนต่อปริมาณฟอสฟอรัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า นอกจากปริมาณแสงแดดและอุณหภูมิแล้ว สารอาหารเป็นอีกปัจจัยสภาพแวดล้อมที่สำคัญต่อกำลังการผลิตขั้นต้น และค่า PP/Chl *a* (Millero, 2006) อาทิ บริเวณปากแม่น้ำซึ่งสารอาหารมากและความลึกน้อย กำลังการผลิตขั้นต้นและค่า PP/Chl *a* ก็มาก เมื่อแสงแดด อุณหภูมิ และสารอาหาร เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนพืชก็ผลิตคลอโรฟิลล์ เพื่อดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและปล่อยออกซิเจนสู่น้ำทะเล และมีการผลิตอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น ของแต่ละพื้นที่ โดยกำลังการผลิตขั้นต้น และค่า PP/Chl *a* ใน 3 ช่วงเวลา มีค่ามากบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงบริเวณชายฝั่ง กลางอ่าว และปากอ่าว ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

นอกจากปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น โครงสร้างประชาคมแพลงก์ตอนพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก อาทิ แบคทีเรีย ก็มีความสัมพันธ์ต่อกำลังการผลิตขั้นต้น (Cho & Azam, 1990) งานวิจัยหลายชิ้น แสดงให้เห็นว่า กำลังการผลิตขั้นต้นแปรผันตามปริมาณคลอโรฟิลล์เออย่างมีนัยสำคัญ (Boonkwan, 2013; Jaroensuk, 2018) รวมทั้งงานวิจัยนี้ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (ตารางที่ 4; เอกสารเพิ่มเติม) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถานี (ตารางที่ 2; เอกสารเพิ่มเติม) เนื่องจาก ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (PP/Chl *a*) มีความสัมพันธ์กับขนาดเซลล์ แพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเซลล์ใหญ่ให้ค่า PP/Chl *a* ในระดับที่ต่ำกว่าแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเซลล์เล็ก เมื่อทดลองในห้องปฏิบัติการ (Suchatpong, 2021) (1) สถานี IGoT2 บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูร้อน (ภาพที่ 3 ก และ ข) มีค่า PP/Chl *a* ของไมโครแพลงก์ตอนพืช นาโนแพลงก์ตอนพืช และพิโคแพลงก์ตอนพืช อยู่ที่ 1.18 3.94 และ 14.08 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 3 ข) และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอรวม 7.36 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1) ถ้าสมมติให้ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชแต่ละขนาด 100 เซลล์ต่อลิตร จะมีกำลังการผลิตขั้นต้นรวม อยู่ที่ 8.66 28.97 และ 103.66 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ แต่เนื่องจาก ไมโครแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นหลัก ถึง 86 เซลล์ต่อลิตร กำลังการผลิตขั้นต้นรวมของแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิด จึงมีค่าเพียง 9.14

มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 3 ก) และ (2) เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของกำลังการผลิตขึ้นต้นแยกตามขนาดแผงกักตอนพืช ของสถานี IGoT4 และ IGoT6 (ภาพที่ 3 ก) พบว่า มีค่า 3.73 และ 8.86 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอรวมของทั้งสองสถานีดังกล่าว ที่มีค่า 3.11 และ 1.64 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เนื่องจาก แผงกักตอนพืชแต่ละขนาดมีค่า PP/Chl *a* (ภาพที่ 3 ข) และสัดส่วนต่างกัน ในแต่ละบริเวณ (ภาพที่ 3 ค) ดังนั้น งานวิจัยหลายชิ้น ซึ่งคำนวณค่ากำลังการผลิตขึ้นต้นจากการประเมินค่าคลอโรฟิลล์เอ (Phromthong, 1999) และการเทียบอัตราส่วนของรงควัตถุ (Lursinsap *et al.*, 1986) อาจให้ค่ากำลังการผลิตขึ้นต้นที่ต่างจากความเป็นจริง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตขึ้นต้นบริเวณใกล้ฝั่งกับบริเวณไกลฝั่ง ซึ่งมีแผงกักตอนพืชต่างขนาดในสัดส่วนที่ต่างกัน เพราะแผงกักตอนพืชต่างขนาดมีค่า PP/Chl *a* ที่ต่างกัน นอกจากนี้ กำลังการผลิตขึ้นต้นอาจไม่แปรผันตามความหนาแน่นเซลล์ แผงกักตอนพืชขนาดเล็กที่มีความหนาแน่นเซลล์มาก อาจมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอน้อยกว่า แผงกักตอนพืชขนาดใหญ่ที่มีความหนาแน่นเซลล์น้อย ส่งผลให้กำลังการผลิตขึ้นต้นของแผงกักตอนพืชขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่า แผงกักตอนพืชขนาดใหญ่ (Jaroensuk, 2018)

นอกจากนี้ ยังพบว่า (1) เมื่อพิจารณากำลังการผลิตขึ้นต้น และค่า PP/Chl *a* เฉลี่ย ตามช่วงเวลา ของทุกบริเวณ ให้ผลสอดคล้องกับบริเวณปากแม่น้ำ ตามกล่าวข้างต้น ในผลการวิจัย คือ ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมมีค่ากำลังการผลิตขึ้นต้นเฉลี่ยสูงสุด และมีค่าลดลงในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน ตามลำดับ (19.89 ± 17.29 16.94 ± 9.67 และ 13.73 ± 3.94 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) แต่ค่า PP/Chl *a* เฉลี่ย มีค่าในทิศทางตรงกันข้าม (5.90 ± 4.87 6.96 ± 2.75 และ 9.57 ± 8.48 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง) โดยสามารถอธิบายจากการศึกษา กำลังการผลิตขึ้นต้นของแผงกักตอนพืชต่างขนาดในห้องปฏิบัติการ (Suchatpong, 2021) ซึ่งพบว่า แผงกักตอนพืชขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีการปรับตัว ในสภาวะแวดล้อมที่มีการแข่งขันและไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต โดยเพิ่มค่า PP/Chl *a* และปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ ดังนั้น ในฤดูร้อนซึ่งสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแผงกักตอนพืช อาทิ ปริมาณไนโตรเจนต่ำ (ตารางที่ 1) ส่งผลให้ความหนาแน่นเซลล์และปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำ แผงกักตอนพืชจึงมีการปรับตัว โดยเพิ่มค่า PP/Chl *a* เพื่อให้คลอโรฟิลล์เอแต่ละหน่วยมีกำลังการผลิตขึ้นต้นที่สูงขึ้น ส่วนในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมซึ่งกำลังการผลิตขึ้นต้นสูง แต่ค่า PP/Chl *a* ต่ำ ก็สามารถอธิบายได้ในทิศทางตรงกันข้าม และ (2) เมื่อพิจารณาสัดส่วนกำลังการผลิตขึ้นต้น และสัดส่วน PP/Chl *a* ของแผงกักตอนพืชแต่ละขนาด (ภาพที่ 3 ค และ ง) พบว่า พืชแผงกักตอนพืชมีสัดส่วนกำลังการผลิตขึ้นต้นที่น้อยบริเวณปากแม่น้ำ เนื่องจาก พื้นผิวเซลล์น้อย เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีการแข่งขันและสารอาหารมีปริมาณมาก จึงดูดซึมสารอาหารได้ไม่ดีเท่าแผงกักตอนพืชที่มีพื้นผิวเซลล์มาก อย่างไรก็ตาม แผงกักตอนพืชและนาโนแผงกักตอนพืช จึงมีการปรับตัว โดยเพิ่มความหนาแน่นเซลล์ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ และค่า PP/Chl *a* เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นต้น (Suchatpong, 2021; Zhang *et al.*, 2012) ส่งผลให้ค่า PP/Chl *a* มีค่าที่สูงบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงบริเวณชายฝั่ง และบริเวณปากอ่าวตามลำดับ (ภาพที่ 3 ง) ส่วนไม่ใครแผงกักตอนพืชและนาโนแผงกักตอนพืช ให้ผลการทดลองในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีสัดส่วนกำลังการผลิตขึ้นต้นที่น้อยบริเวณปากอ่าว เนื่องจาก สารอาหารมีปริมาณน้อย แต่เซลล์มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความหนาแน่นเซลล์ต่ำ จึงมีการปรับตัวโดยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ และค่า PP/Chl *a* เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นต้น แต่ค่า PP/Chl *a* ของเซลล์ขนาดใหญ่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเซลล์ขนาดเล็ก ทำให้เพิ่มได้ไม่มากนัก จึงเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์



เป็นหลัก (Suchatpong, 2021) ส่งผลให้ค่า PP/Chl *a* มีค่าที่สูงบริเวณปากอ่าว และลดลงบริเวณชายฝั่ง และบริเวณปากแม่น้ำตามลำดับ (ภาพที่ 3 ง)

ในภาพรวม (1) กำลังการผลิตขั้นต้นที่รายงานในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงค่าแนวโน้มของแต่ละสถานีและพื้นที่ ตามช่วงเวลา เนื่องจาก ไม่ได้บ่มน้ำทะเล ณ สถานีเก็บตัวอย่าง เนื่องด้วยข้อจำกัดหลายประการ และวิธีการวิเคราะห์กำลังการผลิตขั้นต้นทั้งสองวิธี ก็เป็นเพียงการเปรียบเทียบค่าแนวโน้ม เพราะหลักการและวิธีการวิเคราะห์ต่างกัน (2) เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตขั้นต้นกับงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในปี พ.ศ. 2552 (บริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่ง กลางอ่าว และปากอ่าว) มีค่า 25.83 ± 19.25 8.39 ± 1.44 6.38 ± 4.36 1.72 ± 1.02 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน (Boonkwan, 2013) พบว่า มีค่าที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ เนื่องด้วยวิธีการวิเคราะห์ต่างกัน แต่มีแนวโน้มทิศทางเดียวกัน (บริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่ง กลางอ่าว และปากอ่าว) มีค่า 41.12 ± 29.90 13.53 ± 8.09 3.43 ± 1.46 0.47 ± 0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และ (3) สำหรับการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในอ่าวไทยตอนใน ในอนาคต อาจศึกษาให้ครอบคลุมมากขึ้น โดย (ก) ศึกษา กำลังการผลิตขั้นต้นตามความลึก (ข) ศึกษา กำลังการผลิตขั้นต้นและปริมาณคลอโรฟิลล์เอแยกตามขนาด รวมทั้งชนิดและความความหนาแน่นเซลล์ ของประชาคมแพลงก์ตอนพืช และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก อาทิ แบคทีเรีย (ค) บ่มตัวอย่าง ณ จุดเก็บตัวอย่าง และ (ง) วางแผนสถานีเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมอ่าวไทยตอนใน เป็นสถานีเดียวกันในแต่ละฤดูกาล และช่วงเวลา การศึกษาตรงตามฤดูกาล เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560) ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560) และฤดูร้อน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2561) ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายของขวดสว่างและขวดมืด พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $0.47 - 116.88$ มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันออก ชายฝั่งตะวันตก กลางอ่าว และปากอ่าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 41.12 ± 29.90 20.59 ± 6.40 8.82 ± 5.23 3.43 ± 1.46 0.47 ± 0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อพิจารณากำลังการผลิตขั้นต้น ตามช่วงเวลา ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม ต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 19.89 ± 17.29 16.94 ± 9.67 และ 13.73 ± 3.94 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในฤดูร้อน (เดือนเมษายน พ.ศ. 2561) พบว่า ไม่ใครแพลงก์ตอนพืชและนาโนแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นหลักบริเวณปากแม่น้ำ และฟิโคแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นหลักบริเวณปากอ่าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการสร้างเสริมพลังจุฬาย ก้าวสู่ศตวรรษที่ 2 ช่วงที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ทุน พสวท.) และโครงการทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณ คุณเกียรติพงษ์ คำดี เจ้าหน้าที่สถาบัน



เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องมือ Isotope-Ratio Mass Spectrometry

เอกสารอ้างอิง

- Boonkwan, S. (2013). Seasonal variations of phytoplankton and primary production in the Inner Gulf of Thailand. In *MSc Thesis*. (pp. 1-96). Chonburi : Burapha University. (in Thai)
- Cho, B. C., & Azam, F. (1990). Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. *Marine Ecology Progress Series*, 63, 253-259.
- Cullen, J. J. (2001). *Primary Production Methods*. Retrieved January 13, 2021, from doi:10.1006/rwos.2001.0203
- Decembrini, F., Caroppo, C., & Azzaro, M. (2009). Size structure and production of phytoplankton community and carbon pathways channelling in the Southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56, 687-699.
- Hama, T., Miyazaki, T., Ogawa, Y., Iwakuma, T., Takahashi, M., Otsuki, A., & Ichimura, S. (1983). Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable ^{13}C isotope. *Marine Biology*, 73(1), 31-36.
- Hansen, H. P., & Koroleff, F. (1999). Determination of nutrients. In Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt M. (3rd Eds.). *Methods of Seawater Analysis*. (pp. 159-228). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Iriarte, A., & Purdie, D. A. (1994). Size distribution of chlorophyll *a* biomass and primary production in a temperate estuary (Southampton Water): the contribution of photosynthetic picoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 115, 283-297.
- Jaroensuk, P. (2018). Primary productivity of size-fractionated phytoplankton in the Inner Gulf of Thailand. In *MSc Thesis*. (pp. 1-92). Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)



- Lursinsap, A., Chaiyakham, K., & Sirimontaporn, P. (1986). Primary production and the potential of fish production in Songkra lake. In *Proceeding Kasetsart University Seminar*. (pp. 156-163). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Millero, F. J. (2006). *Chemical Oceanography*. Boca Raton: CRC Press.
- Musikasung, W., Yusoff, M. S. B., & Razak, S. B. A. (1999). Primary production determination in the South China Sea, area I: Gulf of Thailand and east coast of Peninsular Malaysia. In *Proceeding of the First Technical Seminar on Marine Fishery Resources Survey in the South China Sea, Area I: Gulf of Thailand and Peninsular Malaysia, 24-26 November 1997, Bangkok, Thailand*. (pp. 135-146). Samutprakan: Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Nishibe, Y, Takahashi, K., Shiozaki, T., Kakehi, S., Saito, H., & Furuya, K. (2015). Size-fractionated primary production in the Kuroshio Extension and adjacent regions in spring. *Journal of Oceanography*, 71, 27-40.
- Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (1984). 7.2. Determination of carbonate alkalinity and total carbon dioxide (all forms). In Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (Eds.), *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. (pp. 142-149). Amsterdam: Pergamon.
- Phromthong, I. (1999). Dynamics and diversity of phytoplankton in Tha Chin estuary, Samut Sakhon province. In *MSc Thesis*. (pp. 1-141). Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Round, F. E. (1984). *The ecology of algae*. London: Cambridge University Press.
- Sojisuporn, P., Chuchuai, T., & Kooptasin, J. (2019). Grain-size distribution of surface sediment in the inner Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 24(3), 958-977. (in Thai)
- Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Ottawa: The Alger Press Ltd.



- Suchatpong, C., Panpet, S., Bunyajetpong, S., & Lirdwitayaprasit, T. (2021). Primary productivity of two phytoplankton cell sizes in laboratory. *Burapha Science Journal*, 26(3), 1947-1965. (in Thai)
- Varela, M., Fernandez, E., & Serret, P. (2002). Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995-1996. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49, 749-768.
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). *Limnological Analyses*. New York: Springer.
- Zhang, Y., Yin, Y., Wang, M., & Liu, X. (2012). Effect of phytoplankton community composition and cell size on absorption properties in eutrophic shallow lakes: field and experimental evidence. *Optics Express*, 20, 11882-11898.