

การศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตขั้นต้นและความผันแปรของสารอาหาร  
บริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRIMARY PRODUCTIVITY IN RIVER MOUTHS AND THE INNER GULF OF THAILAND  
IN RELATION TO NUTRIENT VARIABILITY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Marine Science  
Department of Marine Science  
FACULTY OF SCIENCE  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2021  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตขั้นต้นและความผันแปร ของสารอาหารบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน
โดย	น.ส.เจริญลักษณ์ สุชาติพงษ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.สุธาดร บัญญาเจตน์พงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.วรรณพ วิทยาภรณ์)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
.....	
(ดร.สุธาดร บัญญาเจตน์พงษ์)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
.....	
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)	กรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์)	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
.....	
(เกียรติพงษ์ คำดี)	

เจริญลักษณ์ สุชาติพงษ์ : การศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตขั้นต้นและความผันแปรของ  
 สารอาหารบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน. ( PRIMARY PRODUCTIVITY IN RIVER MOUTHS  
 AND THE INNER GULF OF THAILAND IN RELATION TO NUTRIENT VARIABILITY) อ.ที่ปรึกษา  
 หลัก : ดร.สุรภาพร บุญญเจตน์พงษ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

บริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นเอสทูรีขนาดใหญ่ ซึ่งรับน้ำจืดมาจากแม่น้ำ 4 สายหลัก คือ แม่น้ำแม่กลอง  
 แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง จึงทำให้บริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นถิ่นที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร  
 และที่หลบภัย ของสัตว์ทะเล ซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้น  
 ของแพลงก์ตอนพืชบริเวณดังกล่าว ด้วยวิธีคาร์บอน-13 ของขดมืดและขดสว่าง พบว่า ปริมาณกำลังการผลิต  
 ขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (30 พฤษภาคม-14 มิถุนายน พ.ศ.  
 2562) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (25 ตุลาคม-19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-11.37  
 และ 0.02-3.07 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฤดูมรสุมตะวันตก  
 เฉียงใต้ (9-12 ตุลาคม พ.ศ. 2562) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (8-12 มีนาคม พ.ศ.2563) มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-5.15  
 และ 0.30-10.09 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากผู้วิจัยมีความสนใจที่จะ  
 ศึกษา กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด จึงได้ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอน  
 พืชต่างขนาด 2 ชนิด ในห้องปฏิบัติการ คือ ไมโครแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. และนาโนแพลงก์ตอนพืช  
*Isochrysis* sp. ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายของขดมืดและขดสว่าง โดยเฉพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้งสอง  
 ชนิด ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว ด้วยอาหารสูตร T1 ที่ความเข้มข้น 100% และสภาวะเลี้ยงรวม ด้วยอาหารสูตร T1 ที่  
 ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% พบว่า (1) ความเข้มข้นของสารอาหาร ส่งผลต่อจำนวนเซลล์ ขนาดเซลล์  
 กำลังการผลิตขั้นต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และช่วงชีวิต (2) นาโนแพลงก์ตอนพืชในสภาวะเลี้ยงรวม มีกำลังการ  
 ผลิตขั้นต้นสูงกว่าในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมาก เนื่องจากการปรับลดจำนวนเซลล์และขนาดเซลล์ แต่เพิ่มปริมาณ  
 คลอโรฟิลล์เอ นอกจากนี้ นาโนแพลงก์ตอนพืชยังมีการปรับระยะเวลาที่ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อ  
 หน่วยคลอโรฟิลล์เอ (PP/Chl *a*) สูง ให้ยาวขึ้น และปรับปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ (Chl *a* /cell) ให้สูงขึ้น  
 ส่งผลให้นาโนแพลงก์ตอนพืชสามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ ทั้งในบริเวณที่สารอาหารมีปริมาณสูง (100%  
 และ 50% T1) และต่ำ (1% T1) และ (3) ในขณะที่ไมโครแพลงก์ตอนพืชสามารถดำรงชีวิตได้ดีในบริเวณที่  
 สารอาหารมีปริมาณสูง (100% และ 50% T1) แต่ต้องปรับตัวอย่างมาก เมื่อสารอาหารมีปริมาณต่ำ (1% T1)  
 โดยปรับปริมาณ Chl *a* /cell ให้สูงขึ้นตลอดช่วงเวลากการดำรงชีวิต เพราะค่า PP/Chl *a* อยู่ในระดับต่ำกว่านาโน  
 แพลงก์ตอนพืชมาก จึงส่งผลต่อการดำรงชีวิต และกำลังการผลิตขั้นต้นที่ต่ำ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 6171929523 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORD: primary productivity, carbon-13, phytoplankton

Charoenluk Suchatpong : PRIMARY PRODUCTIVITY IN RIVER MOUTHS AND THE INNER GULF OF THAILAND IN RELATION TO NUTRIENT VARIABILITY. Advisor: SUTAPORN BUNYAJETPONG, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, Ph.D.

The Inner Gulf of Thailand is a large estuary which received fresh water from 4 rivers mouths, Mae Klong river, Tha Chin river, Chao Phraya river and Bang Pakong river. Therefore, the Inner Gulf of Thailand is an important habitat, food source and refuge for marine organisms which were of economic value. This research aims to study primary productivity of four river mouths and the Inner Gulf of Thailand in relation to nutrient variability by C-13 light-dark bottle method. The primary productivity of four river mouths were conducted during May-June 2019 (*southwest monsoon*) and October-November 2019 (*northeast monsoon*). The values were in the range of 0.05-11.37 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> and 0.02-3.07 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>, respectively. The primary productivity of the inner of Thailand were conducted during October 2019 (*changing-monsoon season*) and March 2020 (*summer season*). The values were in the range of 0.15-5.15 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> and 0.30-10.09 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>. Moreover, the primary productivity of size-fractionated was of our interest. Therefore, the primary productivity of two phytoplankton cell sizes with the O<sub>2</sub> light-dark bottle method was studied in laboratory. The phytoplankton *Chattonella* sp. and *Isochrysis* sp., represented as microphytoplankton and nanophytoplankton respectively, were chosen in this study. The experiment was divided into two parts; pure and mixed phytoplankton cultures were grown in the 100% T1 medium and the 100%, 50% and 1% T1 medium, respectively. The results showed that cell number, cell size, primary productivity, chlorophyll *a* content and lifetime were direct variation to nutrient concentration. Comparing mixed cultures to pure culture, at 100% T1 the primary productivity of nanophytoplankton was dramatically increased since the nanophytoplankton had decreased cell number and cell size but increased chlorophyll *a* content. Furthermore, the nanophytoplankton adapted themselves by extending the period of high PP/Chl *a* value from one day (day 3; pure culture) to the first five days (day 1-5; mixed culture) and increasing the Chl *a*/cell value in two periods, the first three day and the day that gave high cell density. Therefore, the nanophytoplankton were able to live in both area of high and low nutrient while the microphytoplankton lived well in the high-nutrient area (100% and 50% T1) and had difficulty to live in the low-nutrient area (1% T1). At the low-nutrient condition (1% T1), the microphytoplankton adapted themselves by increasing the Chl *a*/cell value throughout their lifetime because their PP/Chl *a* value was low, comparing to it of nanophytoplankton, as a result of low primary productivity.

Field of Study: Marine Science

Academic Year: 2021

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สุธำพร บุญญเจตน์พงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และคอยชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรณ์รวิ เอี่ยมสมบูรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์ และคุณเกียรติพงษ์ คำดี ที่กรุณาให้คำแนะนำ และเป็นคณะกรรมการสอบให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสำรวจและเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำ และรองศาสตราจารย์ ดร.ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสำรวจและเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ขอขอบคุณ คุณเกียรติพงษ์ คำดี เจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ isotope ratio mass spectrometry (IRMS) เพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างไอโซโทปคาร์บอนเสถียร

ขอขอบคุณ คุณปริยานุช เจริญสุข ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และถ่ายทอดประสบการณ์ ในส่วนของการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่างไอโซโทปคาร์บอนเสถียร และขอขอบคุณ คุณอิงอร ทองคำดี และคุณสุนิดา ปานเพชร ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ในการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชและการทดลอง

ขอขอบคุณทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่สนับสนุนทุนวิจัย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เจริญลักษณ์ สุชาติพงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
.....	ค
.....	ง
.....	ง
.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญ.....	3
2.2 แพลงก์ตอนพืช.....	3
2.3 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช.....	4
2.4 วิธีการประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้น.....	12
2.4.1 วิธีการคำนวณจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ.....	12
2.4.2 วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน.....	12
2.4.3 วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	13

2.4.4	วิธีคาร์บอน-14	13
2.4.5	วิธีคาร์บอน-13	13
2.4.6	วิธีออกซิเจน-18	14
<p>บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....15</p>		
3.1	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ และบริเวณอ่าวไทยตอนใน	15
3.1.1	พื้นที่ศึกษาและปัจจัยสภาพแวดล้อม	15
3.1.2	การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร	17
3.1.3	การวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืช	18
3.1.4	การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ	18
3.1.5	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช โดยวิธีคาร์บอน-13	18
3.2	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาดในของปฏิบัติการ	22
3.2.1	การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชในห้องปฏิบัติการ	22
3.2.2	การนับจำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช	23
3.2.3	การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ	23
3.2.4	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย	24
<p>บทที่ 4 ผลการศึกษา.....26</p>		
4.1	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช บริเวณปากแม่น้ำ	26
4.1.1	ปัจจัยสภาพแวดล้อม	26
4.1.2	กำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13	27
4.1.3	ชนิดแพลงก์ตอนพืช	31
4.2	การศึกษากำกับการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช บริเวณอ่าวไทยตอนใน	33
4.2.1	ปัจจัยสภาพแวดล้อม	33



4.2.2	กำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซ ด้วยวิธีคาร์บอน-13	35
4.2.3	ชนิดแผงก่ตอนพีซ	38
4.3	การศึกษาำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซต่างขนาด ในห้องปฏิบัติการ	41
4.3.1	การเติบโต	41
4.3.2	กำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซ ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย	45
4.3.3	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ	47
4.3.4	ความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตขั้นต้น คลอโรฟิลล์เอ และเซลล์	49
บทที่ 5	อภิปรายผลการศึกษา	56
5.1	การศึกษาำลังการผลิตขั้นต้น บริเวณปากแม่น้ำ	56
5.2	การศึกษาำลังการผลิตขั้นต้น บริเวณอ่าวไทยตอนใน	57
5.3	การศึกษาำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซต่างขนาด ในห้องปฏิบัติการ	58
บทที่ 6	สรุปผลการทดลอง	61
		63
ภาคผนวก		65
		68

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 กำลังการผลิตขั้นต้นในประเทศไทย .....	5
ตารางที่ 2 กำลังการผลิตขั้นต้นในต่างประเทศ.....	9
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี .....	11
ตารางที่ 4 แสดงพิกัดและสัญลักษณ์ของสถานีเก็บตัวอย่าง .....	16
ตารางที่ 5 แสดงปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ เครื่องมือ และวิธีการศึกษาวิเคราะห์ .....	17
ตารางที่ 6 ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลผิวหน้าบริเวณปากแม่น้ำ ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ (NE).....	27
ตารางที่ 7 ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลผิวหน้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และช่วงเปลี่ยนฤดู มรสุม (IM) .....	34
ตารางที่ 8 ขนาดและปริมาตรเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ณ วันที่มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด .....	43
ตารางที่ 9 แสดงปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด ใน สภาวะเลี้ยงรวม .....	60

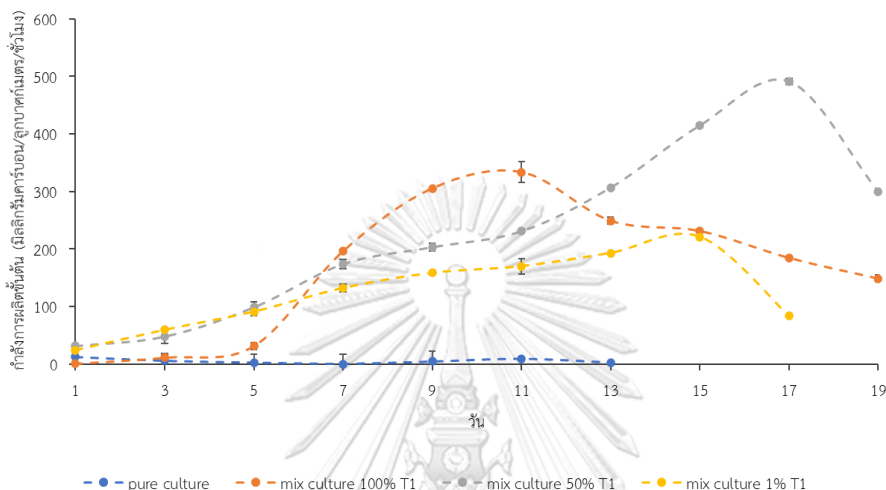
## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แผนที่การเก็บตัวอย่าง .....	15
รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ และการวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืช .....	20
รูปที่ 3 แสดงการศึกษาผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน .....	21
รูปที่ 4 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ เชียงธานี .....	29
รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ เชียงธานี .....	30
รูปที่ 6 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ เชียงพื้นที่ .....	31
รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ เชียงพื้นที่.....	31
รูปที่ 8 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูแล้งฤดูร้อนตะวันตกเฉียงใต้.....	32
รูปที่ 9 แสดงเปอร์เซ็นต์ของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูแล้งฤดูร้อนตะวันตกเฉียงใต้ .....	32
รูปที่ 10 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูแล้งฤดูร้อนออกเฉียงเหนือ .....	33
รูปที่ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูแล้งฤดูร้อนออกเฉียงเหนือ .....	33
รูปที่ 12 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงธานี.....	36
รูปที่ 13 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงธานี.....	37
รูปที่ 14 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงพื้นที่ .....	38
รูปที่ 15 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงพื้นที่ .....	38
รูปที่ 16 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฤดูแล้งฤดูร้อนตะวันตกเฉียงใต้ .....	39
รูปที่ 18 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฤดูแล้งฤดูร้อนตะวันตกเฉียงใต้ .....	39
รูปที่ 19 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ช่วงเปลี่ยนฤดูร้อน.....	40
รูปที่ 20 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ช่วงเปลี่ยนฤดูร้อน.....	40
รูปที่ 21 แพลงก์ตอนพืช <i>Chattonella subsalsa</i> แพลงก์ตอนพืช <i>Isochrysis</i> sp. (กำลังขยาย 40 เท่า).....	41

รูปที่ 22 การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ....44

รูปที่ 23 การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ....44

รูปที่ 24 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



รูปที่ 25 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ....46

รูปที่ 26 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ....48

รูปที่ 27 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ....48

รูปที่ 28 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตขั้นต้นรวม (Total) และผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด (C+) ในสารอาหาร T1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ (100% 50% และ 1%) .....51

รูปที่ 29 การเปรียบเทียบคลอโรฟิลล์เอรวม (Total) และผลรวมของคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด (C+) ในสารอาหาร T1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ (100% 50% และ 1%) .....52

รูปที่ 30 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ....52

รูปที่ 31 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ....53

รูปที่ 32 คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ....53

รูปที่ 33 คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ....54

รูปที่ 34	กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพืช <i>Chattonella</i> sp.....	54
รูปที่ 35	กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพืช <i>Isochrysis</i> sp.....	55



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริเวณอ่าวไทยตอนบนเป็นแนวชายฝั่งน้ำตื้น (shallow coastal sea) มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคล้ายตัวอักษร “ก” มีขนาดประมาณ 100 x 100 ตารางกิโลเมตร โดยมีความลึกสูงสุดประมาณ 40 เมตร และความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตร (ปราโมทย์ โคจิศุภร 2546 อ้างถึง Nedeco 1965 และ วิโรจน์ พินโยภรณ์ 2529) นอกจากนี้ยังเป็นที่ทราบกันดีว่า อ่าวไทยตอนบนเป็นเอสทูรีขนาดใหญ่ ซึ่งรับน้ำจืดมาจากแม่น้ำ 4 สายหลัก คือ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง จึงทำให้บริเวณอ่าวไทยตอนบนเป็นถิ่นที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร และที่หลบภัย ของสัตว์ทะเล ซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณดังกล่าว เนื่องจากกำลัการผลิตขั้นต้นในทะเลมาจากแพลงก์ตอนพืชเป็นหลัก โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะดึงเอาสารอาหารในมวลน้ำเข้าสู่เซลล์ และทำการเปลี่ยนสารอาหารอนินทรีย์ อนินทรีย์คาร์บอน และน้ำ ให้เป็นอินทรีย์คาร์บอนกับออกซิเจน นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตในทะเล และสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้อีกด้วย

การศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีการศึกษาทางตรง ได้แก่ วิธีการติดตามด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope) และวิธีการติดตามด้วยไอโซโทปเสถียร (stable isotope) และวิธีการศึกษาทางอ้อม ได้แก่ การวัดปริมาณออกซิเจนละลายของขวดมืดและขวดสว่าง (light and dark bottle หรือ dissolved oxygen method) การเปรียบเทียบอัตราส่วนของรงควัตถุ การประเมินจากค่าคลอโรฟิลล์เอ การประเมินปริมาณค่าคลอโรฟิลล์จากข้อมูลดาวเทียม และการทำโมเดล ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้สนใจทำการศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นโดยวิธีคาร์บอน-13 เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการศึกษาผลผลิตขั้นต้นด้วยวิธีดังกล่าวบริเวณปากแม่น้ำของไทย และคาร์บอน-13 ยังเป็นไอโซโทปเสถียรที่ไม่มีการแผ่รังสี ทำให้ปลอดภัยต่อผู้วิจัย และสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่อง Elemental Analyzer Isotope Ratio Mass Spectrometry (EAIRMS)

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ควบคู่กับความผันแปรของสารอาหาร และชนิดของแพลงก์ตอนพืช

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ทำการศึกษาองค์การการผลิตขั้นต้น ปริมาณสารอาหาร และชนิดของแพลงก์ตอนพืช บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ใน 2 ฤดูกาล

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงองค์การการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำบางปะกง และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ตามฤดูกาล และทราบถึงความสัมพันธ์ขององค์การการผลิตขั้นต้น ความผันแปรของสารอาหาร และชนิดของแพลงก์ตอนพืช เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ



## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวเหตุผลและทฤษฎีที่สำคัญ

บริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นแนวชายฝั่งน้ำตื้น (shallow coastal sea) มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคล้ายตัวอักษร “ก” มีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด ตั้งอยู่ในเขตร้อน มีขนาดประมาณ 100 x 100 ตารางกิโลเมตร โดยมีความลึกสูงสุดประมาณ 40 เมตร และความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตร (ปราโมทย์ โคจิตคุกร 2546 อ้างถึง Nedeco 1965 และ วิโรจน์ พินโยภรณ์ 2529) อ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากคลื่นลม และน้ำขึ้นน้ำลง จึงทำให้เกิดการผสมของมวลน้ำได้ดีตลอดทั้งความลึก โดยความหนาแน่นของน้ำและความเค็มจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก นอกจากนี้ยังเป็นที่ยกกันที่ว่า อ่าวไทยตอนในเป็นเอสตูรีขนาดใหญ่ ซึ่งรับน้ำจืดมาจากแม่น้ำ 4 สายหลัก คือ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง ซึ่งปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสู่อ่าวไทยตลอดทั้งปีมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดในอ่าวไทย ดังนั้น ปริมาณน้ำจืดจึงส่งผลกระทบต่อกรไหลเวียนของน้ำน้อยมากในอ่าวไทย แต่ปริมาณน้ำจืดจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ นอกจากนี้ บริเวณอ่าวไทยตอนในจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ สภาพอากาศค่อนข้างเย็นและแห้งแล้ง และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน สภาพอากาศค่อนข้างชื้น มีฝนตกชุก ส่วนช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม สภาพอากาศจะร้อน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมใต้ โดยปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำในทะเล จะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล (ปรียานุช เจริญสุข 2561 อ้างถึง ปรีทัศน์ เจริญสิทธิ์ 2550)

บริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นถิ่นที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร และที่หลบภัย ของสัตว์ทะเล เป็นบริเวณที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของประชากร ซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณดังกล่าว เนื่องจากกำล้างการผลิตขั้นต้นในทะเลมาจากแพลงก์ตอนพืชเป็นหลัก โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะดึงเอาสารอาหารในมวลน้ำเข้าสู่เซลล์ และทำการเปลี่ยนสารอาหารอนินทรีย์ อนินทรีย์คาร์บอน และน้ำให้เป็นอินทรีย์คาร์บอนกับออกซิเจน นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตในทะเล และสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ

### 2.2 แพลงก์ตอนพืช

แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ลอยตามกระแสน้ำ โดยพบทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ จัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญยิ่งต่อระบบนิเวศ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารเองได้ ดังนั้น แพลงก์ตอนพืชจึงจัดเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิ (primary producer) ของห่วงโซ่อาหาร (food chain) และสายใยอาหาร (food web) โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอนินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ (Russel-Hunter, 1970) สามารถพบแพลงก์ตอนพืชได้ทั้งในระบบ

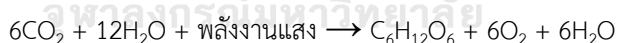


นิเวศน้ำจืด และระบบนิเวศน้ำเค็ม ตลอดจนในระบบนิเวศน้ำกร่อย โดยแพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่จะเป็นสิ่งมีชีวิตพวกสาหร่าย ทั้งที่เป็นสาหร่ายพวกโปรคาริโอตหรือยูคาริโอต โดยพบว่า ในทะเลและทะเลสาบจะพบแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม (diatoms) และกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellates) เป็นกลุ่มหลัก ส่วนในแหล่งน้ำจืดจะพบสาหร่ายสีเขียว (green algae) เป็นกลุ่มหลัก (Boney, 1975) นอกจากนี้ยังมีการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นแยกตามขนาดในต่างประเทศด้วยวิธีประเมินจากคลอโรฟิลล์เอ พบว่า ในทะเลเปิดกำลังการผลิตขั้นต้นมาจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่มนาโนแพลงก์ตอน และพิโคแพลงก์ตอนเป็นหลัก ขณะที่บริเวณชายฝั่งจะพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มเด่นเป็นไมโครแพลงก์ตอน (Holm-Hansen et al., 1989) การแบ่งกลุ่มแพลงก์ตอนโดยยึดขนาด สามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังนี้

1. ไมโครแพลงก์ตอน (microplankton) ขนาด 20-200 ไมครอน เช่น ไดอะตอม สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว โรติเฟอร์ และตัวอ่อนของแพลงก์ตอนสัตว์
2. นาโนแพลงก์ตอน (nanoplankton) ขนาด 2-20 ไมครอน เช่น ไดอะตอม สาหร่ายสีเขียว และไดโนแฟลกเจลเลต
3. พิโคแพลงก์ตอน (picoplankton) ขนาดน้อยกว่า 0.2-2 ไมครอน เช่น แพลงก์ตอนพืชพวกมีหนวด และโปรโตซัว แพลงก์ตอนกลุ่มยูคาริโอต (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2539)

### 2.3 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช

กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช (primary productivity) คือ อัตราการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตจากสารประกอบอนินทรีย์ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้รงควัตถุสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ ในการดูดซับพลังงานแสง เพื่อเปลี่ยนสารอาหารอนินทรีย์ อนินทรีย์คาร์บอน และน้ำ ให้เป็นอินทรีย์คาร์บอน และออกซิเจน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



อัตราการเกิดกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชจึงมีค่าเท่ากับ น้ำหนักของสารอนินทรีย์คาร์บอนที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในหนึ่งหน่วยเวลา หรือต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผิวน้ำทะเล ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ) หรือมีหน่วยเป็นกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ( $\text{mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) ตามลำดับ

จากการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในประเทศไทยบริเวณอ่าวไทยมีการศึกษามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 ทำการศึกษาโดยคุณอำพัน เหลือสินทรัพย์ พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน อยู่ในช่วง 0.83-3.45 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีหาอัตราส่วนรงควัตถุ วิธีประเมินจากปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำการศึกษาในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ปากคลองปากพูน อ่าวบ้านดอน และทะเลสาบสงขลา พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน อยู่ในช่วง 0.33-2.04 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน และวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย ทำการศึกษาริเวณทะเลสาบสงขลา อ่าวภูเก็ต อ่าวศรีราชา และอ่าวไทยบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน อยู่ในช่วง 0.00-1.98 กรัมคาร์บอนต่อ

ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในประเทศไทยมีการนำวิธีการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นโดยการใช้ประโยชน์ของไอโซโทปคาร์บอน ด้วยวิธีคาร์บอน-14 ในช่วงปี พ.ศ. 2538 ทำการศึกษาโดยคุณ Musikasung พบว่า ปริมาณกำล้างการผลิตขั้นต้น อยู่ในช่วง 0.20-1.10 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ทำการศึกษาบริเวณอ่าวไทย บริเวณศูนย์ชีววิทยาภูเก็ต และบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตก ดังตารางที่ 1 วิธีการดังกล่าวมีข้อดีในด้านของความสะดวกและความไวต่อการตอบสนองได้ดี ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆ อย่างไรก็ตามไอโซโทปคาร์บอน-14 ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี ก็อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงกับผู้วิจัย ดังนั้น จึงมีการนำไอโซโทปคาร์บอน-13 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้วิจัย จากการศึกษาพบว่า ในประเทศไทยมีการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีการคาร์บอน-13 น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีคาร์บอน-13

ตารางที่ 1 กำล้างการผลิตขั้นต้นในประเทศไทย

พื้นที่ ทำการศึกษ	ช่วงเวลา ทำการศึกษ	วิธี การศึกษ	ปริมาณ กำล้าง ผลิตขั้นต้น	เอกสารอ้างอิง
อ่าวไทย	พ.ศ. 2511- 2518	ไม่ระบุ	2.18 gC/m <sup>2</sup> /d 588.60 gC/m <sup>2</sup> /d	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2524
อ่าวไทย	พ.ศ. 2513- 2519	อัตราส่วน รงควัตถุ	0.83-3.45 gC/m <sup>2</sup> /d 224.10- 931.50 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2528
อ่าวไทย	พ.ศ. 2514- 2529	อัตราส่วน รงควัตถุ	2.34 gC/m <sup>2</sup> /d 631.80 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2530
อ่าวไทย	พ.ศ. 2518	ไม่ระบุ	1.92 gC/m <sup>2</sup> /d 519.30 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	อำพัน เหลือ สินทรัพย์ และ มานพ รวยเจริญ, 2519
อ่าวไทย	พ.ศ. 2519  พ.ศ. 2519	ไม่ระบุ	1.80 gC/m <sup>2</sup> /d	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2521

			486	
	พ.ศ. 2519		gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
			3.51	
			gC/m <sup>2</sup> /d	
			947.70	
			gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
			3.45	
			gC/m <sup>2</sup> /d	
			931.50	
			gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
อ่าวไทยตอนใน	พ.ศ. 2513- 2522	อัตราสวน ของรงค์- วัดฤ	2.44 gC/m <sup>2</sup> /d	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2524
อ่าวไทยฝั่ง ตะวันออก	พ.ศ. 2514- 2522		658.80 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
อ่าวไทยฝั่ง ตะวันตกตอนบน	พ.ศ. 2511- 2520		2.19 gC/m <sup>2</sup> /d	
			591.30 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
			1.90 gC/m <sup>2</sup> /d	
			513.00 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
เขตนิคม อุตสาหกรรมก่อน การก่อสร้าง ท่าเรือน้ำลึก บริเวณอ่าวไทย ตอนใน บริเวณฝั่ง ตะวันออก	กุมภาพันธ์- ธันวาคม พ.ศ. 2526	อัตราสวน ของรงค์วัดฤ	2.89 gC/m <sup>2</sup> /d	อำพัน เหลือ สินทรัพย์, 2529
			780.30 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
			1.98 gC/m <sup>2</sup> /d	
			534.60 gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัด สมุทรสาคร	กรกฎาคม พ.ศ. 2540	ประเมินจาก คลอโรฟิลล์ เอ	0.36-1.55 gC/m <sup>2</sup> /d	อิชฌิกา พรหมทอง, 2542
	กรกฎาคม พ.ศ. 2540			

			97.92-	
			419.08	
			gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
ปากคลองปากพูน	ฤดูแล้ง พ.ศ.	ประเมินจาก	0.67-1.16	Piumsomboon
จังหวัด	2542	คลอโรฟิลล์	gC/m <sup>2</sup> /d	et al., 2000a
นครศรีธรรมราช		เอ	188.31-	
อ่าวบ้านดอน			314.12	
จังหวัด	ฤดูฝน พ.ศ.		gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
สุราษฎร์ธานี	2542		0.33-0.66	
			gC/m <sup>2</sup> /d	
			81.00-	
			178.00	
			gC/m <sup>2</sup> /d/yr	
ทะเลสาบสงขลา	มกราคม พ.ศ.	ประเมินจาก	2.04	อำพัน เหลือ
เขตติดกับอ่าวไทย	2542-เมษายน	คลอโรฟิลล์	gC/m <sup>2</sup> /d	สินทรัพย์ คณิต ไช
เขตภายในทะเล	พ.ศ. 2527	เอ	550.80	ยาคำ และไพโรจน์
ตอนนอก			gC/m <sup>2</sup> /yr	สิริมนตาภรณ์,
เขตทะเลหลวง			1.98	2529
ตอนล่าง			gC/m <sup>2</sup> /d	
			534.60	
เขตทะเลหลวง			gC/m <sup>2</sup> /yr	
ตอนบน			1.95	
			gC/m <sup>2</sup> /d	
			526.50	
			gC/m <sup>2</sup> /yr	
			2.19	
			gC/m <sup>2</sup> /d	
			591.30	
			gC/m <sup>2</sup> /yr	
ทะเลสาบสงขลา	พฤษภาคม	วัดปริมาณ	GPP 0.60-	ธีรพล ทองเพชร,
ตอนนอก	พ.ศ. 2536-	ออกซิเจนที่	3.79	2539 และ พรศิลป์
	เมษายน	ละลายในน้ำ	gC/m <sup>3</sup> /d	ผลพันธุ์, 2542
	พ.ศ. 2537		NPP 0.00-	
			1.98	
			gC/m <sup>3</sup> /d	

อ่าวไทย (ไม่รวมตอนบน) ชายฝั่งตะวันออก ของมาเลเซีย	พ.ศ. 2538	คาร์บอน-14	0.20-0.61 gC/m <sup>2</sup> /d  0.29-0.47 gC/m <sup>2</sup> /d	Musikasung, Yusoff and Razak, 1999a
ชายฝั่งประเทศ มาเลเซียและ บรูไน ทะเลเปิด	พ.ศ. 2538	คาร์บอน-14	0.13-0.88 gC/m <sup>2</sup> /d  0.23-0.89 gC/m <sup>2</sup> /d	Musikasung, Yusoff, Razak and Snidvong, 1999b
อ่าวภูเก็ต ปากคลองบาง ใหญ่ ปากคลองท่าจีน		วัดปริมาณ ออกซิเจนที่ ละลายในน้ำ	1.10 gC/m <sup>3</sup> /d 2.90 gC/m <sup>3</sup> /d 3.22 gC/m <sup>3</sup> /d	สากล ฐิณะกุล, 2524
ศูนย์ชีววิทยา ภูเก็ต		คาร์บอน-14	0.11-0.19 gC/m <sup>3</sup> /d 1.10 gC/m <sup>2</sup> /d	วุฒิชัย เจนการ และ เพ็ญศรี บุญ เรือง, 2536
อ่าวไทยฝั่ง ตะวันตก	กันยายน- ตุลาคม พ.ศ. 2538 และ ตุลาคม พ.ศ. 2539	คาร์บอน-14	0.20-0.61 gC/m <sup>3</sup> /d	วลีรัตน์ มุสิกะสังข์, 2541
แพหอยแมลงภู บริเวณอ่าวศรี ราชา จังหวัด ชลบุรี	มกราคม- สิงหาคม พ.ศ. 2549	วัดปริมาณ ออกซิเจนที่ ละลายในน้ำ	แพเชื้อกเดี่ยว 1.49 gC/m <sup>3</sup> /d แพเชื้อกถัก 0.99 gC/m <sup>3</sup> /d	ปัญชรส์มี ก่อเจริญ วัฒน์, 2550
อ่าวไทยตอนใน บริเวณใกล้ปาก แม่น้ำ บริเวณชายฝั่ง	มีนาคม สิงหาคม และ พฤศจิกายน พ.ศ. 2552	วัดปริมาณ ออกซิเจนที่ ละลายในน้ำ	29.43 gC/m <sup>2</sup> /d	สันติ บุญขวัญ (2556)

บริเวณกลางอ่าว			4.16	
ไทย			$\text{gC/m}^2/\text{d}$	
บริเวณปากอ่าว			3.36	
ไทย			$\text{gC/m}^2/\text{d}$	
			0.86	
			$\text{gC/m}^2/\text{d}$	
บริเวณอ่าวไทย	เมษายน พ.ศ.	คาร์บอน-13	0.08-19.51	ปริยานุช เจริญสุข,
ตอนใน	2561		$\text{mg m}^3/\text{hr}$	2562

จากการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นในต่างประเทศ พบว่า มีการใช้วิธีการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีคาร์บอน-13 และคาร์บอน-14 กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 โดยพบค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 0.21-219 ไมโครกรัมคาร์บอนต่อลิตรต่อชั่วโมง โดยทำการศึกษาในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก ได้แก่ บริเวณทะเล Seto Inland เป็นพื้นที่ที่มีภูมิอากาศอบอุ่น มีอุณหภูมิคงที่ตลอดทั้งปี บริเวณ Dokai Bay เป็นพื้นที่ที่อยู่ทางใต้ของประเทศญี่ปุ่น เป็นบริเวณที่มีน้ำตื้น อยู่ติดกับทะเลเปิด มีปริมาณสารอาหารสูง บริเวณทะเล Okhotsk เมือง Hokkaido เป็นพื้นที่ที่อยู่ทางเหนือของประเทศมีภูมิอากาศแบบกึ่งทั่วโลก และบริเวณ Kuroshio Extension ในประเทศญี่ปุ่น จะเห็นได้ว่าในประเทศญี่ปุ่นเราสามารถพบลักษณะของภูมิอากาศที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้กำล้างการผลิตขั้นต้นมีค่าแตกต่างกัน บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก และบริเวณมหาสมุทรอาร์กติก ดังตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นในต่างประเทศกับบริเวณอ่าวไทยพบว่า มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นที่แตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 กำล้างการผลิตขั้นต้นในต่างประเทศ

พื้นที่ทำการศึกษา	ช่วงเวลาที่ ทำการศึกษา	วิธีการศึกษา	ปริมาณกำลังการ ผลิตขั้นต้น	เอกสารอ้างอิง
ทะเล Seto Inland ประเทศญี่ปุ่น	พ.ศ. 2536- 2537	คาร์บอน-13	0.41-32.1 $\mu\text{gC/L/hr}$	Tada และคณะ (1998)
Northern Taiwan Strait (NTS)	สิงหาคม พ.ศ. 2537	คาร์บอน-14	ฤดูร้อน นาโนแฟล่งก์ตอน 77% ของ NTS พีโคแฟล่งก์ตอน 85% ของ STS	Huang, B. Q., 1999
Southern Taiwan Strait (STS)	กุมภาพันธ์- มีนาคม พ.ศ. 2538	คาร์บอน-14	ฤดูหนาว นาโนแฟล่งก์ตอน 36% ของ NTS พีโคแฟล่งก์ตอน 48% ของ STS	
Dokai Bay ประเทศ ญี่ปุ่น	พ.ศ. 2539- 2540	คาร์บอน-13	0.27-219.0 $\mu\text{gC/L/hr}$	Tada และคณะ (1999)
Sub-arctic western north Pacific	พ.ศ. 2541- 2543	คาร์บอน-13	ฤดูหนาว 0.03-0.12 $\text{gC/m}^3/\text{d}$ ฤดูใบไม้ผลิ 0.52-0.54 $\text{gC/m}^3/\text{d}$	Imai, K. et al., 2002
ทะเล Okhotsk เมือง Hokkaido ประเทศญี่ปุ่น	เมษายน- ธันวาคม พ.ศ. 2543- 2550	คาร์บอน-13	0.40-0.60 $\text{gC/m}^3/\text{d}$	Kasai, H., and Hirakawa, K., 2015
มหาสมุทรอาร์กติก ฝั่งตะวันตก	กรกฎาคม- สิงหาคม พ.ศ. 2553	คาร์บอน-13	0.02-0.03 $\text{gC/m}^3/\text{d}$	Yun และคณะ (2015)
Kuroshio Extension ประเทศญี่ปุ่น	พ.ศ. 2551- 2554	คาร์บอน-13	ฤดูหนาว 0.06-0.19 $\text{gC/m}^3/\text{d}$ ฤดูใบไม้ผลิ 0.44-0.87 $\text{gC/m}^3/\text{d}$	Nishibe และคณะ (2015)

จากการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้น พบว่า สามารถประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้นได้หลายวิธี ได้แก่ (1) วิธีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งเป็นวิธีที่มีการศึกษามาตั้งแต่ 20 ปีก่อน มีข้อดีในการวิเคราะห์ได้สะดวกและรวดเร็ว โดย

ไม่ต้องเก็บน้ำมาทำการบ่ม จึงสามารถลดการปนเปื้อนจากขวดที่ใช้ในการบ่มได้ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันวิธีการนี้ ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีวิธีอื่นที่สามารถวิเคราะห์ได้สะดวกและแม่นยำ (2) วิธีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซ ออกซิเจนเป็นวิธีที่สามารถวัดกำลังการผลิตขั้นต้นสุทธิได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสีย คือ ไม่เหมาะสำหรับวิเคราะห์ ตัวอย่างในปริมาณมาก เช่นเดียวกับวิธีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (3) วิธีคาร์บอน-14 เป็นวิธี ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆ เนื่องจากมีความไวและความแม่นยำสูง แต่เนื่องจากคาร์บอน- 14 เป็นสารกัมมันตรังสีทำให้ส่งผลกระทบต่อผู้วิจัย (4) วิธีคาร์บอน-13 เป็นวิธีที่ปลอดภัยต่อผู้วิจัยเนื่องจากเป็นธาตุที่มีความเสถียร แต่มีข้อเสียของความยุ่งยากและความไวที่น้อยกว่าวิธีคาร์บอน-14 และ (5) วิธีออกซิเจน-18 เป็นวิธีที่ สามารถวัดการหายใจได้โดยตรง มีความไวพอสมควรและสามารถใช้กับบริเวณที่มีผลผลิตขั้นต้นน้อยได้ แต่จะมีความยุ่งยากและต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ	เป็นวิธีที่ไม่ต้องเก็บน้ำตัวอย่างมาทำการบ่ม จึงสามารถลดการปนเปื้อนจากขวดที่ใช้ในการบ่มได้	ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม
การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน	เป็นวิธีการวัดกำลังการผลิตขั้นต้นสุทธิได้อย่างแม่นยำ	ไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างปริมาณมาก
การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เป็นวิธีการวัดกำลังการผลิตขั้นต้นสุทธิได้อย่างแม่นยำ	ความแม่นยำของการวิเคราะห์ยังไม่ดีพอ
คาร์บอน-14	มีความไวและความแม่นยำสูง สามารถใช้วิเคราะห์ตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆ	เนื่องจากคาร์บอน-14 เป็นสารกัมมันตภาพรังสี ต้องใช้ขั้นตอนพิเศษสำหรับการจัดการและกำจัด ซึ่งอาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์
คาร์บอน-13	วิธีนี้นิยมใช้เมื่อต้องการที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกี่ยวกับไอโซโทปที่เป็นกัมมันตภาพรังสี	อาจยุ่งยาก และความไวที่น้อยกว่าวิธีคาร์บอน-14
ออกซิเจน-18	วิธีนี้สามารถวัดการหายใจได้โดยตรง มีความไวพอสมควรและสามารถใช้กับบริเวณที่มีผลผลิตขั้นต้นน้อยได้	อาจยุ่งยากและต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ



## 2.4 วิธีการประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้น

ในการประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้นเป็นการวัดอัตราการผลิตก๊าซออกซิเจน และการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไป ซึ่งค่าการประเมินอัตราค่ากำลังการผลิตขั้นต้นจะแตกต่างกันตามวิธีที่ใช้ในการประเมิน การวัดอัตราค่ากำลังการผลิตขั้นต้นสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีคำนวณจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีคาร์บอน-13 วิธีคาร์บอน-14 และวิธีออกซิเจน-18

### 2.4.1 วิธีการคำนวณจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

การประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีการคำนวณจากปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ทำได้โดยเก็บตัวอย่างน้ำและนำไปสกัดหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ด้วยอะซิโตนที่มีความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ ที่คลื่นแสงความถี่สูง ทำการปั่นเหวี่ยงให้ตัวอย่างตกตะกอน และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จากงานวิจัยเมื่อ 20 ปีก่อน พบว่าคลอโรฟิลล์เอ สามารถใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชได้ โดยการนำปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มาคำนวณหาอัตราการสังเคราะห์แสงและกำลังการผลิตขั้นต้น ซึ่งวิธีมีข้อดีในการลดการปนเปื้อนจากการทดลอง เนื่องจากไม่ต้องนำน้ำตัวอย่างมาทำการบ่ม แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันวิธีการนี้ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีวิธีอื่นที่สามารถวิเคราะห์ได้สะดวกและแม่นยำ

### 2.4.2 วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน

วิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในหนึ่งหน่วยเวลาสามารถคำนวณหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และกำลังการผลิตขั้นต้น สามารถทำได้โดยเก็บตัวอย่างน้ำแล้วนำไปบ่มในที่ที่มีแสงสว่างและในที่มืด โดยหลักการของวิธีนี้จะเป็นการวัดความแตกต่างของปริมาณแก๊สออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 2 ขวด ได้แก่ ขวดสว่าง ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำจะให้ค่าผลผลิตเบื้องต้นสุทธิและขวดมืด ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำจะให้ค่าออกซิเจนที่ถูกใช้ในกระบวนการหายใจ โดยกำหนดให้กระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นใน 2 ขวดเท่ากัน จะสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตรวม โดยวัดปริมาณออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เครื่องวัดออกซิเจน (oxygen electrode) หรือทำการตรึงออกซิเจนที่ละลายในน้ำภายในขวดแล้วหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ หรือใช้เครื่องมือวัดออกซิเจนละลายตามวิธีของวิงเลอร์ (Winkler method) ในการหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรบ่มตัวอย่างในสภาพแวดล้อมจริง ให้อุณหภูมิและแสงสว่างเสมือนจริง เพื่อความแม่นยำในการหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (Cullen, 2001)

#### 2.4.3 วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำโดยรวม แต่วิธีนี้มีความไม่แน่นอนหลายประการ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกี่ยวข้องกับค่าพีเอช (pH) และสภาพความเป็นด่าง (alkalinity) ดังนั้น การวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำโดยรวมจะถูกหลีกเลี่ยง ซึ่งการวัดปริมาณสาร อนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำด้วยวิธีดังกล่าว สามารถทำได้โดยใช้การไทเทรตแบบคูลอมเมตริก (coulometric titration) หรือการวิเคราะห์ด้วยแก๊สอินฟราเรดหลังจากปฏิกิริยาที่เป็นกรด อย่างไรก็ตามความแม่นยำของการวิเคราะห์ยังไม่ดีพอ เนื่องจากในธรรมชาติยังมีปฏิกิริยาอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องที่ทำให้ค่าที่ได้มีความผิดพลาด เช่น การตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต กระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่ได้เกิดจากการผลิตขั้นต้น ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เป็นที่นิยมสำหรับการวัดผลผลิตขั้นต้นในมหาสมุทร (Cullen, 2001)

#### 2.4.4 วิธีคาร์บอน-14

คาร์บอนในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ คาร์บอน-12 คาร์บอน-13 และคาร์บอน-14 โดยในธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบคาร์บอน-12 มีปริมาณ 98.9 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน-13 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร มีปริมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอน-14 ซึ่งเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี มีปริมาณน้อยกว่า 0.0001 (Falkowski and Raven, 2007) ซึ่งการที่พบปริมาณคาร์บอน-14 ในปริมาณที่น้อยมากๆ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้ให้การศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสง และใช้ในการติดตามการส่งผ่านสารอาหารคาร์บอนไปยังผู้บริโภคลำดับถัดไปได้ ด้วยการวัดอัตราคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยอาศัยคาร์บอน-14 โดยการใช้ประโยชน์ของไอโซโทปคาร์บอน -14 มีมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1952 และเป็นที่แพร่หลายในระยะเวลาต่อมา ได้มีการปรับเทคนิคดังกล่าวให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น วิธีการดังกล่าวมีข้อดีในด้านของความสะดวกและคำตอบสนองได้ดี ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆ อย่างไรก็ตาม ไอโซโทปคาร์บอน-14 ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี ก็อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงกับผู้วิจัย ดังนั้น จึงมีการนำไอโซโทปคาร์บอน-13 ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้วิจัย มาใช้ในการศึกษาในปี ค.ศ. 1983x

#### 2.4.5 วิธีคาร์บอน-13

คาร์บอนในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ คาร์บอน-12 คาร์บอน-13 และคาร์บอน-14 ไอโซโทปคาร์บอน-13 และคาร์บอน-14 มีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการศึกษาหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และใช้ติดตามการส่งผ่านสารอาหารไปยังผู้บริโภคในลำดับต่างๆ วิธีการคาร์บอน-13 เริ่มมีการใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1983 โดยมีหลักการคือ เดิมสารคาร์บอน-13 ที่อยู่ในรูปของไอโซโทปเสถียรโซเดียมโบคาร์บอเนต ลงในน้ำตัวอย่างเพื่อให้แพลงก์ตอนนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง และสร้างสารประกอบอินทรีย์ เมื่อทราบปริมาณของคาร์บอน-13 ที่เดิม

เข้าไป และปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำทะเลทำให้สามารถหาค่าอัตราการผลิตขั้นต้นของแหล่งน้ำนั้นๆได้ (Falkowski and Raven, 2007)

#### 2.4.6 วิธีออกซิเจน-18

ออกซิเจนในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ ออกซิเจน-16 ออกซิเจน-17 และออกซิเจน-18 โดยส่วนใหญ่จะพบออกซิเจน -16 ในปริมาณ 99.76 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณออกซิเจนทั้งหมด ออกซิเจน-18 ในปริมาณ 0.20 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน-17 ในปริมาณน้อยที่สุดประมาณ 0.04 เปอร์เซ็นต์ (Falkowski and Raven, 2007) โดยในปี ค.ศ. 2000 ได้เริ่มนำวิธีการสังเคราะห์แสงด้วยการเติมออกซิเจน-18 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการผลิตขั้นต้น ซึ่งวิธีการนี้ทำได้โดยเติมออกซิเจน-18 ลงในน้ำตัวอย่าง และทำการตรวจวัดด้วยเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (mass spectrometer) โดยวิธีนี้สามารถวัดค่าอัตราการผลิตขั้นรวม (gross primary productivity) ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยม (Cullen, 2001)

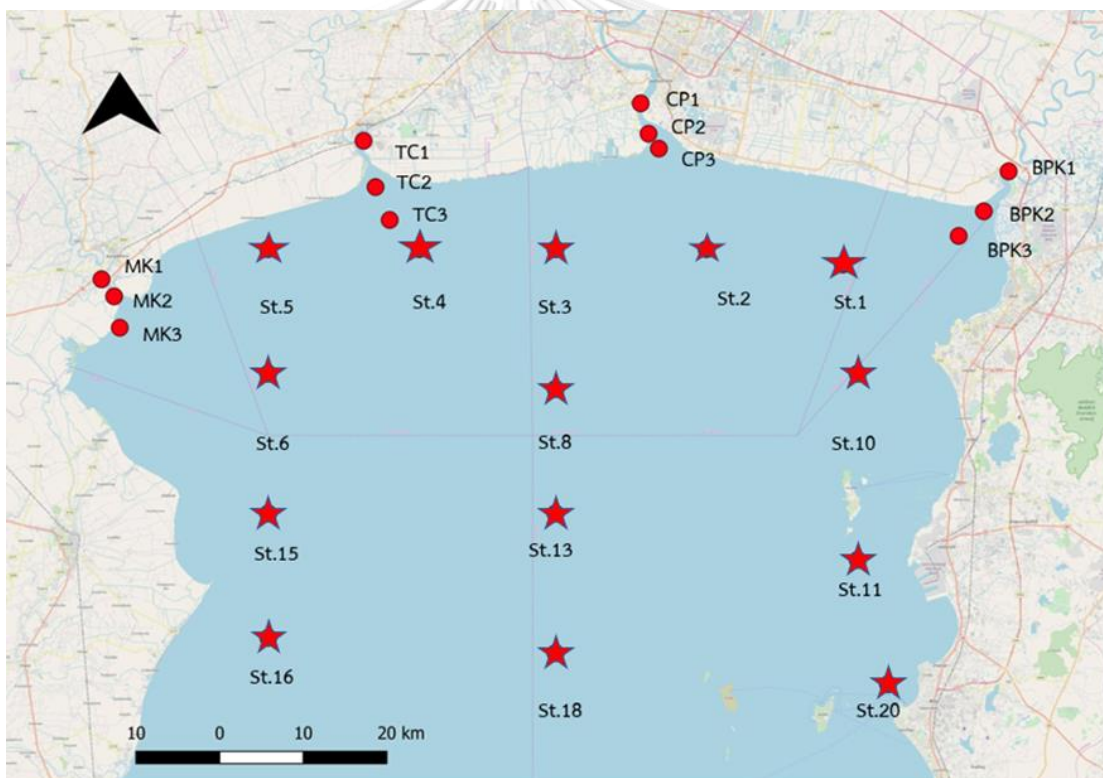


### บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ และบริเวณอ่าวไทยตอนใน

##### 3.1.1 พื้นที่ศึกษาและปัจจัยสภาพแวดล้อม

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 โดยเก็บตัวอย่าง (1) บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง (MK) ปากแม่น้ำท่าจีน (TC) ปากแม่น้ำเจ้าพระยา (CP) และปากแม่น้ำบางปะกง (BPK) จำนวนปากแม่น้ำละ 3 สถานี ใน 2 ช่วงเวลา คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (30 พฤษภาคม-14 มิถุนายน พ.ศ. 2562) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (25 ตุลาคม-19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) และ (2) บริเวณอ่าวไทยตอนใน จำนวน 14 สถานี ใน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ (9-12 ตุลาคม พ.ศ. 2562) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (8-12 มีนาคม พ.ศ.2563) นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย



รูปที่ 1 แผนที่การเก็บตัวอย่าง



การเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง (MK) ปากแม่น้ำท่าจีน (TC) ปากแม่น้ำเจ้าพระยา (CP) ปากแม่น้ำบางปะกง (BPK) และบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยบริเวณอ่าวไทยตอนในได้ทำการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ จำนวน 14 สถานี จาก 20 สถานี ตามรูปที่ 1 และตารางที่ 4 ซึ่งในจำนวน 14 สถานีดังกล่าว มี 3 สถานี ที่ไม่ได้ทำการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้น คือ สถานีที่ 10 11 และ 20 เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา ในส่วนของเครื่องมือและวิธีการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม พีเอช ความเข้มแสง ความโปร่งแสง ความขุ่นของน้ำ ค่าอัลคาลินิตี้รวม ค่าอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณสารอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ เครื่องมือ และวิธีการศึกษาวิเคราะห์

ปัจจัยสภาพแวดล้อม	เครื่องมือและวิธีการศึกษาวิเคราะห์
อุณหภูมิ	เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI รุ่น 600XLM)
ความเค็ม	เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI รุ่น 600XLM)
ความเป็นกรด-เบส (pH)	เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI รุ่น 600XLM)
ความเข้มแสง	เครื่องวัดความเข้มแสง (HOBO)
ความโปร่งแสง	แผ่นวัดความโปร่งแสง
ความขุ่นของน้ำ	(Parsons et al., 1984)
ค่าอัลคาลินิตี้รวม (total alkalinity)	(Parsons et al., 1984)
ค่าอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (dissolved inorganic carbon)	(Strickland and Parsons, 1972)
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	(Strickland and Parsons, 1972)
ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส	(Strickland and Parsons, 1972)
ปริมาณซิลิเกต	(Strickland and Parsons, 1972)
ปริมาณแอมโมเนียมไอออน	(Strickland and Parsons, 1972)

### 3.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

กรองน้ำตัวอย่างประมาณ 200 มิลลิลิตร ด้วยกระดาษกรอง GF/F ทำการวัดปริมาณสารอาหารทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ฟอสเฟต แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรท โดยมีวิธีวิเคราะห์ ดังนี้ (1) การหาปริมาณฟอสเฟต นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายผสม (mixed reagent) 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่อย่าให้เกิน 30 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร (2) การหาปริมาณแอมโมเนีย นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมฟีนอล (phenol) 200 ไมโครลิตร แกว่งเบาๆ เติมซิเตรต (citrate) 100 ไมโครลิตร แกว่งเบาๆ เติมสารละลายไฮเปอร์คลอไรต์ (hypochlorite) 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

จะได้สารละลายสีน้ำเงิน วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร (3) การหาปริมาณไนโตรเจน นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide) 200 ไมโครลิตร เขย่าตั้งทิ้งไว้ 1 นาที เติมไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) 200 ไมโครลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที ได้สารละลายสีแดง วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร และ (4) การหาปริมาณไนเตรท นำตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ (ammonium buffer solution) 10 มิลลิลิตร เขย่า ผ่านสารละลายลงในคอลัมน์โดยปล่อยทิ้ง 10 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ 5 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์แบบไนโตรเจน และทำการชะคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ (ammonium buffer solution) 10 มิลลิลิตร ทุกครั้งก่อนการเปลี่ยนตัวอย่าง และคำนวณความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

### 3.1.3 การวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืช

ทำการศึกษาสกุล (genus) และปริมาณแพลงก์ตอนพืชเฉพาะกลุ่มเด่น โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 0.5 เมตร ปริมาตร 20 ลิตร กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 20 ไมโครเมตร เก็บตัวอย่างลงในขวดเก็บตัวอย่าง เติมสารละลายฟอร์มาลินให้ความเข้มข้นสุดท้ายประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สไลด์เซดวิก (Sedwick-Rafter chamber) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และจำแนกตามวิธีของ ลัดดา วงศ์รัตน์ (2542) และ Tomas (1997)

### 3.1.4 การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 0.5 เมตร สกัดคลอโรฟิลล์เอด้วยอะซิโตนที่ความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ และสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 8 นาที เก็บตัวอย่างในที่มีदनาน 8-12 ชั่วโมง และทำการปั่นเหวี่ยงให้ตัวอย่างตกตะกอน ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ด้วยเครื่องฟลูออโรมิเตอร์ (fluorometer) วัดค่าความเข้มแสงของตัวอย่าง และจดบันทึก จากนั้นหยดกรดไฮโดรคลอริก 1.2 โมลาร์ 3 หยด วัดค่าความเข้มแสงอีกครั้ง และจดบันทึก นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยคำนวณค่าเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ข้อควรระวัง แสง ความร้อน และระยะเวลาการสกัด จะทำให้ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอลดลง การทดลองควรทำการสกัดทันทีหลังจากกรองน้ำ ควรทำในที่ที่บดแสงและอุณหภูมิต่ำตลอดเวลา

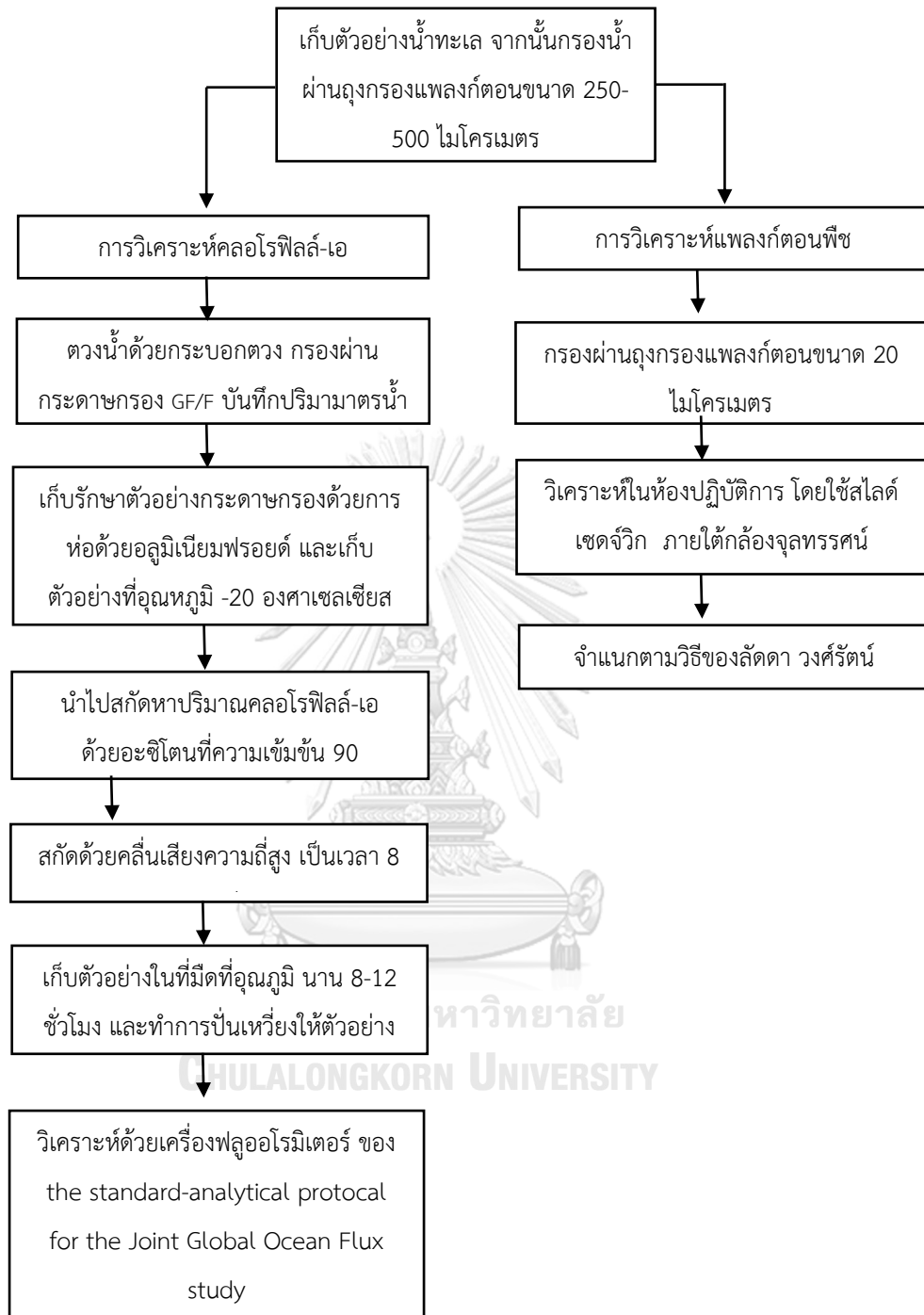
### 3.1.5 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นของแพลงก์ตอนพืช โดยวิธีคาร์บอน-13

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึก 0.5 เมตร กรองน้ำผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาด 250-500 ไมโครเมตร เพื่อทำการแยกแพลงก์ตอนสัตว์ออก นำไปวิเคราะห์หาค่าอัลคาไลน์ตีรวม (total alkalinity) และวิเคราะห์ผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช โดยตวงน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร ใส่ในขวดบ่มตัวอย่าง เติมสารละลายไอโซโทปเสถียรไซโตเดียมโบคาร์บอนที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนคาร์บอนรวมในน้ำทะเล (Hama et al., 1983) กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองทันทีเพื่อใช้เป็นชุดควบคุม สำหรับชุดการทดลองนำไปบ่มในภาชนะเป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง (Yun et al., 2015) โดยให้ภาชนะบ่มมีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

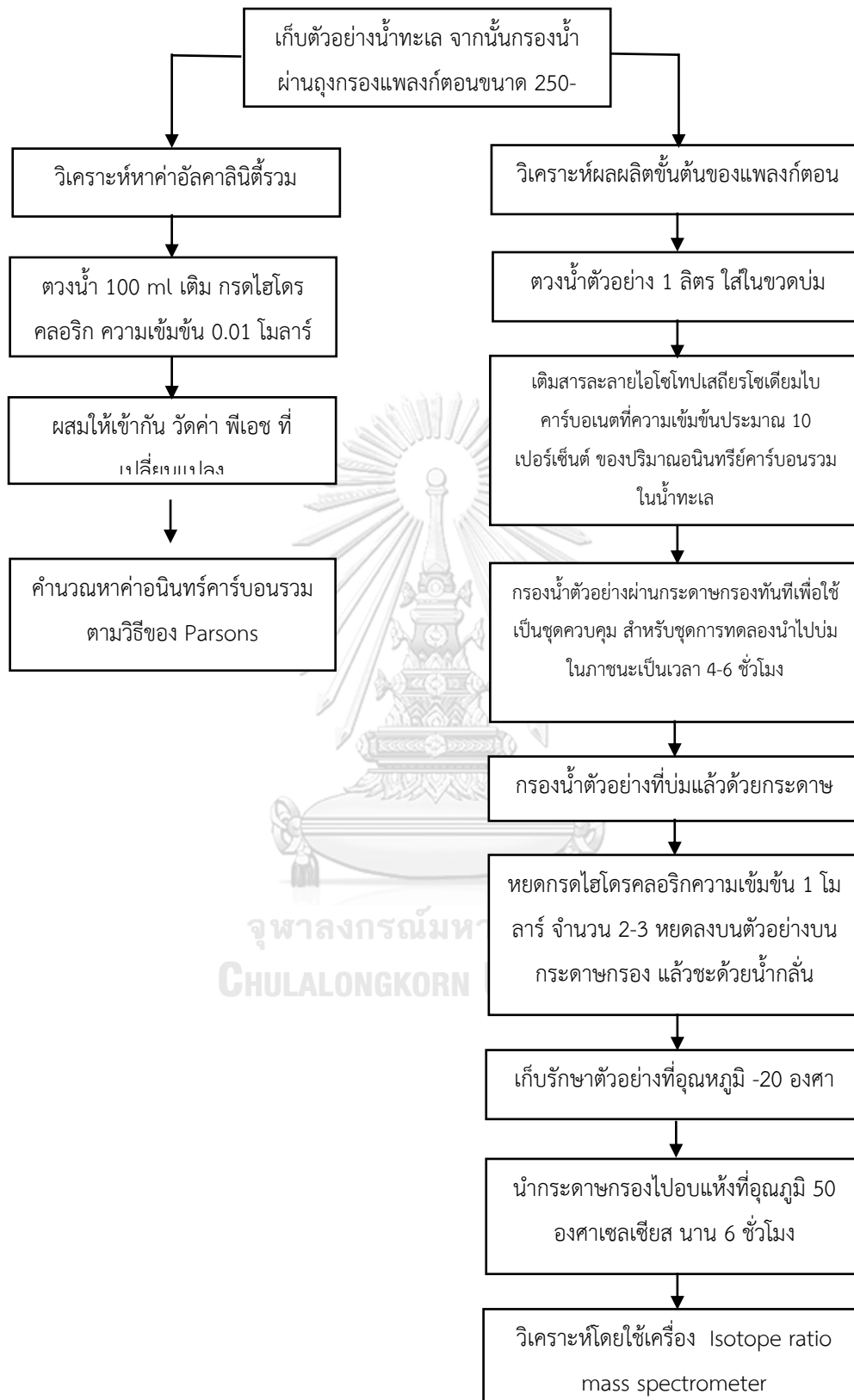
จากนั้นกรองน้ำตัวอย่างที่บ่มแล้ว ด้วยกระดาษกรอง GF/F หดกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 2-3 หยดลงบนตัวอย่างบนกระดาษกรอง แล้วชะด้วยน้ำกลั่นจนกระดาษกรองมีสภาพเป็นกลาง เพื่อกำจัดอนินทรีย์คาร์บอนออก แล้วจึงเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (Nishibe et al., 2015)20 เมื่อต้องการวิเคราะห์ ให้นำกระดาษกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน (particulate organic carbon) และเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน-13 โดยใช้เครื่องแมสสเปกโตรเมทรี (Elemental Analyzer Isotope Ratio Mass Spectrometry; EAIRMS) ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก ในการตรวจวัด โดยในการทดลองนี้ ใช้วิธีหาค่าการผลิตขั้นต้นแบบ (artificial light incubator) คือ การบ่มตัวอย่างที่เติมสารละลายคาร์บอน-13 ในขวดทดลอง แล้วนำไปบ่มในภาชนะที่ออกแบบเฉพาะ โดยใช้หลอดไฟเป็นแหล่งกำเนิดแสง (2500 ลักซ์) และมีการควบคุมอุณหภูมิตลอดการทดลอง (26-28 องศาเซลเซียส) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ได้แก่ ปริมาณแสง และอุณหภูมิ ดังนั้น ค่ากำลังการผลิตขั้นต้นที่ได้จากวิธีดังกล่าว ซึ่งเป็นกำลังการผลิตขั้นต้นสุทธิ (Net primary productivity) จะแตกต่างจากค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในธรรมชาติ







รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์เอ และการวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืช



รูปที่ 3 แสดงการศึกษาผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน

วิธีการวิเคราะห์หาค่าผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชจากวิธีคาร์บอน-13 จำนวนตามวิธีการของ Hama *et al.* (1983) ในการประเมินค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในทะเล โดยค่าผลผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชจะเท่ากับ ปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอนที่บ่มแล้วคูณด้วยผลต่างของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-13 ในตัวอย่างธรรมชาติและ ตัวอย่างที่บ่มแล้ว หารด้วยเวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่างคูณด้วยผลต่างของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-13 ในอินทรีย์ คาร์บอนรวมและในตัวอย่างธรรมชาติ หน่วยที่ใช้เป็นมิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $\text{mgC m}^{-3} \text{h}^{-1}$ )

$$P = \frac{\Delta C}{t} = \frac{C(a_{is}-a_{ns})}{t(a_{ic}-a_{ns})}$$

- เมื่อ  $P$  = อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง )
- $\Delta C$  = ปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่บ่มตัวอย่าง (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อ ลูกบาศก์เมตร)
- $C$  = ปริมาณอนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอนที่บ่มแล้ว (มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตร)
- $a_{is}$  = เปอร์เซนต์ของคาร์บอน-13 ในตัวอย่างที่บ่มแล้ว
- $a_{ic}$  = เปอร์เซนต์ของคาร์บอน-13 ในอินทรีย์คาร์บอนรวม
- $a_{ns}$  = เปอร์เซนต์ของคาร์บอน-13 ในตัวอย่างธรรมชาติ
- $t$  = ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่าง (ชั่วโมง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.2 การศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาดในของปฏิบัติการ

#### 3.2.1 การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชในห้องปฏิบัติการ

เปิดตู้ปลอดเชื้อ (biological safety cabinet) โดยเปิดแสงยูวี ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นใช้สเปรย์ แอลกอฮอล์ฉีดที่ผ้าเช็ดมือ และเช็ดมือให้สะอาด นำขวดสารอาหารที่เตรียมไว้มาใส่วิตามินรวม (Vitamin mixed solution) ปริมาตร 0.5 มิลลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำหัวเชื้อแพลงก์ตอน 2 ชนิด ได้แก่ *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. ไปไว้ในตู้ รวมทั้งขวดสารอาหารที่ทำไว้ นำฟอยล์ที่ห่อไว้ออกและเปิดจุดขวด จุดไฟที่ ตะเกียงแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปลงไฟเพื่อฆ่าเชื้อ เทหัวเชื้อปริมาณครึ่งหลอดลงในขวดขวดสารอาหาร เขียนวันที่ และชนิดของแพลงก์ตอนบนขวด นำไปไว้ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงไฟ เป็นเวลาทั้งหมด 14 วัน เก็บตัวอย่างระหว่างการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การนับ

จำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณสารอาหาร และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ทุกๆ 2 วัน ตลอดการทดลอง

### 3.2.2 การนับจำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช

การนับจำนวน *Chattonella* sp.

เจือจางแพลงก์ตอน 10 เท่า นำสไลด์เซดจ์วิก (Sedgewick) วางกระจกปิดให้มีที่เหลือน้อยเพื่อใส่ แพลงก์ตอน ปิเปตต์แพลงก์ตอนที่เจือจางแล้วใส่ 1 มิลลิลิตร นำสไลด์วางบนแท่นวางวัตถุของกล้องจุลทรรศน์ ปรับ โฟกัสให้คมชัด นับจำนวนแพลงก์ตอนที่อยู่ในตารางทั้ง 1000 ช่อง และนำจำนวนแพลงก์ที่ได้มาคำนวณในหน่วย เซลล์ต่อมิลลิลิตร (cell/ml)

$$\text{จำนวนแพลงก์ตอนในหน่วยเซลล์ต่อมิลลิลิตร (cell/ml)} = N \times D$$

$$\text{เมื่อ } N = \text{จำนวนแพลงก์ตอนเฉลี่ยที่นับได้ (cell/ml)}$$

$$D = \text{จำนวนเท่าที่เจือจาง}$$

การนับจำนวน *Isochrysis* sp.

เจือจางแพลงก์ตอน 10 เท่า จากนั้น นำสไลด์ฮีมาไซโตมิเตอร์ (Haemocytometer) มาปิดด้วยกระจกปิด ปิเปตต์แพลงก์ตอนที่เจือจางแล้วใส่สไลด์ นำไปวางบนแท่นวางวัตถุของกล้องจุลทรรศน์ ใช้กำลังขยาย 10 เท่า ปรับ โฟกัสให้คมชัด นับจำนวนแพลงก์ตอนที่อยู่ในตาราง 9 ช่องในแต่ละด้าน จะได้จำนวนแพลงก์ตอน N1 และ N2 หลังจากนั้นมาหาค่าเฉลี่ย N และคำนวณในหน่วยเซลล์ต่อมิลลิลิตร (cell/ml)

$$\text{จำนวนแพลงก์ตอนในหน่วยเซลล์ต่อมิลลิลิตร (cell/ml)} = [(N/9) \times 10^4] \times D$$

$$\text{เมื่อ } N = \text{จำนวนแพลงก์ตอนเฉลี่ยที่นับได้ (cell/ml)}$$

$$D = \text{จำนวนเท่าที่เจือจาง}$$

### 3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

กรองน้ำที่เลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้ง 2 ชนิดด้วยกระดาษกรอง GF/F และตัดกระดาษกรองเป็น 4 ส่วน ใส่ใน หลอดทดลอง (centrifuge tubes) ที่ทึบแสง ปิเปตต์ 90 เปอร์เซ็นต์ อะซิโตน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด และปิดด้วยพาราฟิล์ม ทำการสกัดคลอโรฟิลล์เอกับแพลงก์ตอนทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำตัวอย่าง ทั้งหมดใส่อ่างโซนิเคเตอร์ เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 – 15 ชั่วโมง นำช่องใส่ตัวอย่าง (holder) ของเครื่องปั่นเหวี่ยง แช่เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนการนำไปใช้ ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที วัดค่าความเข้มแสงของตัวอย่าง

โดยใช้เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ และจดบันทึก หยตกรตไฮโดรคลอริก 1.2 โมลาร์ 3 หยด วัดค่าความเข้มแสงอีกครั้ง และจดบันทึก นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร ( $\mu\text{g/L}$ ) โดยคำนวณ คำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

### 3.2.4 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย

นำแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด คือ *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. มาเพาะเลี้ยงในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 28 พีเอชยู ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ใส่อาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชสูตรอาหาร T1 (Bender et al., 1987) ในขวด อาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำหัวเชื้อแพลงก์ตอนทั้ง 2 ชนิด มาปิเปตลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ กำหนดความหนาแน่นชนิดละ 500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ สภาวะเลี้ยงเดี่ยว และสภาวะเลี้ยงรวม จากนั้นนำไปวางไว้ในห้องปฏิบัติการแพลงก์ตอนพืชที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงต่อวัน 12:12 (สว่าง:มืด) เป็นเวลา 20 วัน เก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์แพลงก์ตอนพืช กำลังการผลิตขั้นต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณสารอาหาร ทุกๆ 2 วัน ตลอดการทดลอง

อาหารเลี้ยงเชื้อแพลงก์ตอนพืชสูตรอาหาร T1 ประกอบด้วยสารเคมี ดังนี้

- 1) 1.0 M  $\text{NaNO}_3$  ใช้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 2) 0.1 M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ใช้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 3) 5.0 mM Fe-EDTA ใช้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 4) 0.01 mM  $\text{H}_2\text{SeO}_3$  ใช้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 5) 100 mM  $\text{Na}_2\text{-EDTA}$  ใช้ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 6) 2.5 M Tris-HCl buffer ใช้ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร
- 7) Trace metal solution ใช้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร

นำขวดปิโอดี ที่รู้ปริมาตรภายในขวดแล้ว 12 ขวด แบ่งเป็น 2 ชุด เพื่อใช้กับแพลงก์ตอนพืช 2 ชนิด กำหนดให้แต่ละชุดประกอบด้วย ขวดควบคุม ขวดมืด และขวดสว่าง อย่างละ 3 ขวด กรอกแพลงก์ตอนที่เลี้ยงไว้ลงในขวดแต่ละชุด นำขวดควบคุมของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดมาหาค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น บ่มขวดมืด และสว่าง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายภายในขวดมืด และสว่าง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น โดยคำนวณตามสมการของ Environmental Information Office (I.E.S., 2000) ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( $\text{mgC/m}^3/\text{h}$ ) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{กำลังการผลิตขั้นต้น} = (LB-DB) \times 375 / PQ \times T$$

เมื่อ LB = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของขวดสว่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

DB = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของขวดมืด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

375 = อัตราส่วนโดยโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจน ปรับหน่วยให้อยู่ใน

หน่วยต่อลูกบาศก์เมตร ( $12 \text{ mg C} / 32 \text{ mg O}_2 \times 1000 = 375$ )

PQ = โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูญเสียไปขณะสังเคราะห์แสงต่อ  
โมเลกุลของ

ออกซิเจนที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 1.2

T = ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอย่าง



## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช บริเวณปากแม่น้ำ

#### 4.1.1 ปัจจัยสภาพแวดล้อม

การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมของงานวิจัยครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง จำนวนปากแม่น้ำละ 3 สถานี ใน 2 ช่วงฤดูกาล คือ ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (30 พฤษภาคม-14 มิถุนายน พ.ศ. 2562) และช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (25 ตุลาคม-19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) ทำการวัดความลึก ความเค็ม อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และพีเอชด้วยเครื่องเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI รุ่น 600XLM) และคลอโรฟิลล์เอ ดังแสดงในตารางที่ 4.1.1 พบว่า บริเวณปากแม่น้ำความลึกของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.8-13.4 เมตร สถานีที่มีความลึกน้อยที่สุด คือ สถานี TC3 และสถานีที่มีความลึกมากที่สุด คือ สถานี MK1 โดยระดับความลึกจะเพิ่มขึ้น เมื่อห่างจากฝั่งมากขึ้น ผลของการวัดความเค็มบริเวณปากแม่น้ำความเค็มของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.85-28.55 พีเอชยู สถานีที่มีความเค็มต่ำที่สุดคือ สถานี MK1 และสถานีที่มีความเค็มสูงที่สุดคือ สถานี BPK3 โดยความเค็มจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากฝั่งมากขึ้น ผลของการวัดอุณหภูมิบริเวณปากแม่น้ำของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 27.34-30.21 องศาเซลเซียส สถานีที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ สถานี CP3 และสถานีที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด คือ สถานี BPK1 ซึ่งแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ผลของการวัดพีเอชบริเวณปากแม่น้ำของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 7.3-8.73 สถานีที่มีพีเอชต่ำที่สุด คือ สถานี TC1 และสถานีที่มีพีเอชสูงที่สุด คือ สถานี BPK3 ซึ่งแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ผลของการวัดออกซิเจนละลายน้ำบริเวณปากแม่น้ำของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.82-5.98 มิลลิกรัมต่อลิตร สถานีที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุด คือ สถานี TC1 และสถานีที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด คือ สถานี BPK3 และผลของปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 0.19-4.11 ไมโครกรัมต่อลิตร สถานีที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่ำที่สุด คือ สถานี TC1 และสถานีที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด คือ สถานี BPK2 โดยสถานีที่อยู่ใกล้ฝั่งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากฝั่งออกไป

ตารางที่ 6 ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำ ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษา กำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

สถานี	ฤดู	Depth (m)	Salinity (PSU)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	Chla (µ/l)	SiO <sub>4</sub> (µM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM)
MK1	SW	13.4	1.85	30.1	7.66	4.37	1.52	190.58	1.70	1.35	26.46
MK2	SW	5	5.94	30.13	7.59	3.95	0.73	175.45	2.98	1.42	20.35
MK3	SW	5	12.04	30.14	7.82	4.02	0.76	143.16	2.25	1.26	15.37
TC1	SW	4	2.29	30.88	7.3	0.82	4.12	224.22	30.55	0.31	1.76
TC2	SW	3	10.21	30.86	7.42	0.91	2.74	162.58	23.26	0.26	1.14
TC3	SW	1.8	21.17	30.43	8.23	5.03	0.84	71.92	1.14	0.42	1.59
CP1	SW	10	9.51	30.52	7.58	2.89	2.27	61.64	26.75	34.70	52.31
CP2	SW	5.1	12.72	30.19	7.6	3.14	1.64	62.89	35.30	33.55	44.27
CP3	SW	3.1	20.62	29.63	7.99	4.69	0.65	69.32	14.05	21.75	23.47
BPK1	SW	14	27.3	32.1	7.49	3.8	0.29	79.60	1.43	1.45	75.07
BPK2	SW	4	27.98	30.96	7.67	4.26	0.59	52.95	1.40	16.13	43.46
BPK3	SW	2.4	28.55	29.9	7.83	5.1	0.93	38.05	2.10	15.81	23.10
MK1	NE	13.2	3.14	29.77	7.78	3.32	0.30	222.30	9.15	3.21	34.46
MK2	NE	5	3.21	29.41	7.95	3.41	0.47	225.35	10.61	3.32	36.44
MK3	NE	2.8	4.4	29.64	7.93	3.39	0.44	224.11	10.01	3.23	31.09
TC1	NE	6.7	2.46	30.21	8.16	1.68	1.13	270.29	150.37	1.16	0.27
TC2	NE	3.6	4.9	30.14	8.2	1.25	3.10	246.47	146.85	0.55	1.08
TC3	NE	3.4	10.06	30.47	8.28	1.41	2.79	223.21	117.18	0.75	0.23
CP1	NE	12.4	13.01	28.85	7.67	3.48	3.86	186.18	43.75	10.77	14.06
CP2	NE	10.4	10.4	28.6	7.69	3.12	3.33	200.51	43.90	11.06	11.50
CP3	NE	3.3	15.2	28.6	7.74	2.93	2.06	162.24	32.14	10.20	12.56
BPK1	NE	14.6	19.5	28.36	8.2	4.42	0.81	77	21.88	2.74	18.56
BPK2	NE	4.2	24.8	28.06	8.42	5	0.20	40.87	29.62	1.50	9.54
BPK3	NE	2.4	27.99	27.37	8.73	5.98	0.35	17.73	11.72	0.36	5.35

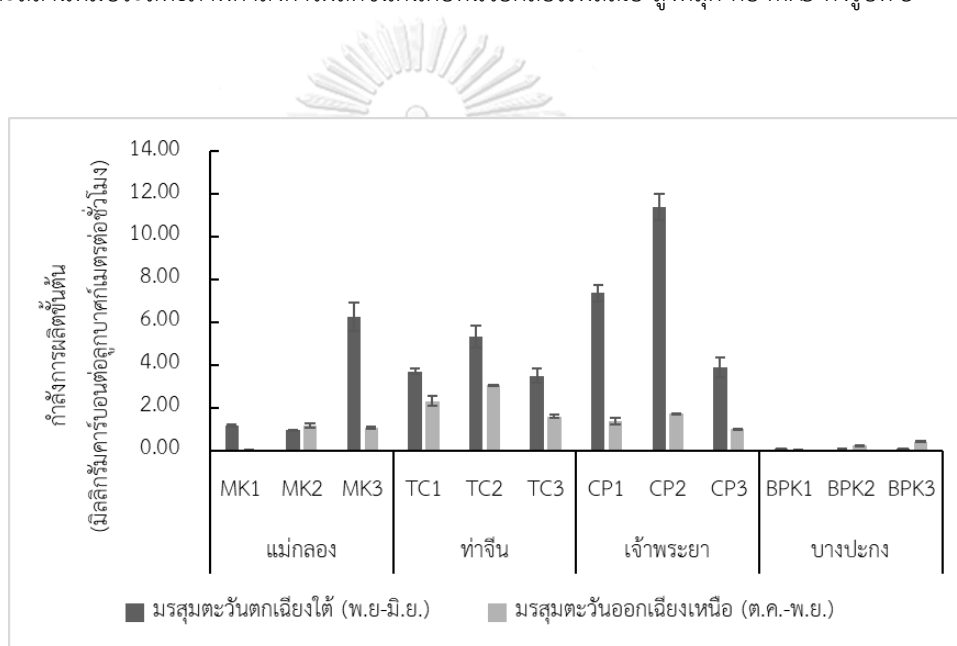
#### 4.1.2 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในช่วง 0.05-11.37

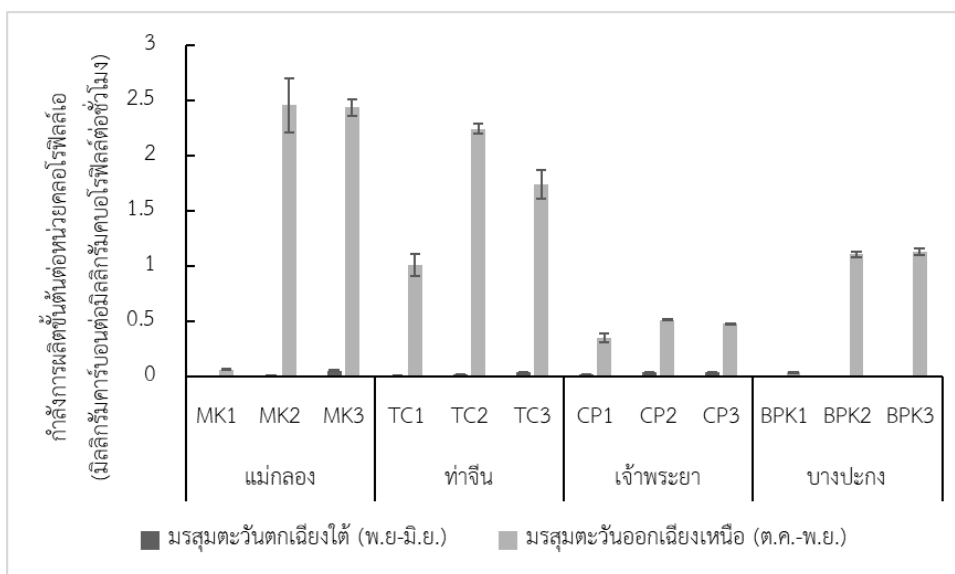




มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง สถานี MK1 MK2 และ MK3 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ 0.07 2.45 และ 2.44 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน สถานี TC1 TC2 และ TC3 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ 1.01 2.24 และ 1.74 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา สถานี CP1 CP2 และ CP3 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ 0.35 0.52 และ 0.48 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง สถานี BPK1 BPK2 และ BPK3 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ 0.04 1.11 และ 1.13 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ สถานีที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ต่ำที่สุด คือ BPK1 และสถานีที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ สูงที่สุด คือ MK3 ดังรูปที่ 5



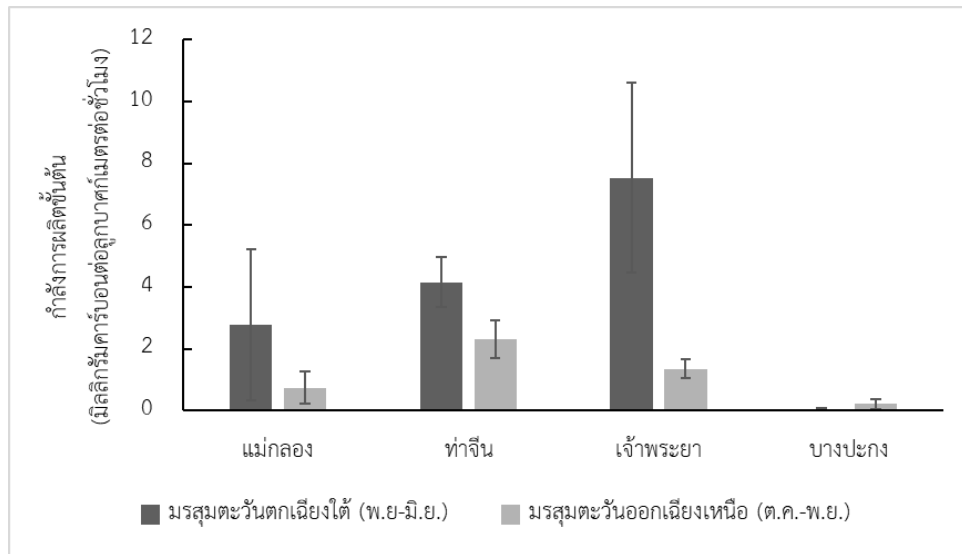
รูปที่ 4 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ เจ้าพระยา



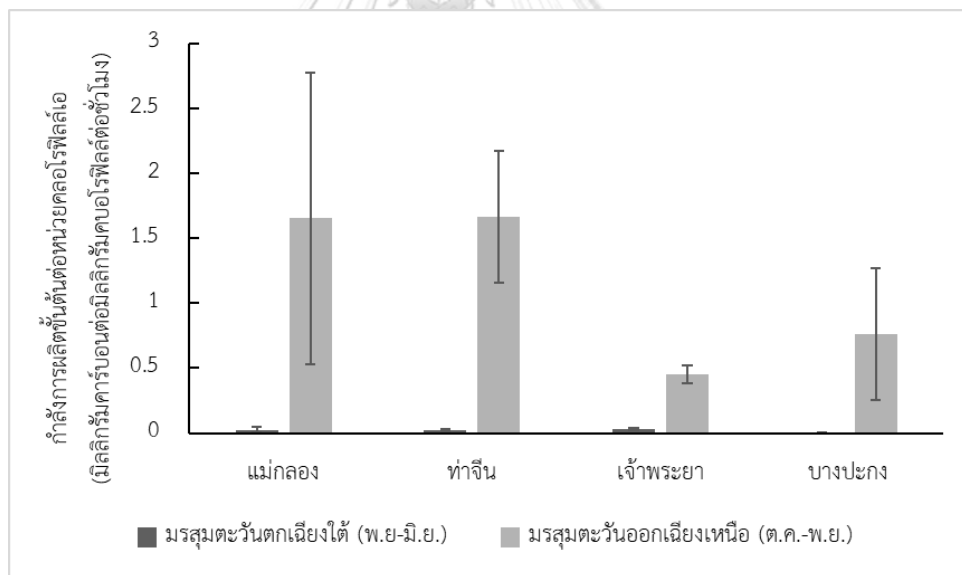
รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ เชียงธานี

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในช่วง 0.06-7.53 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง มีค่า 2.78 4.16 7.53 และ 0.06 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 0.22-2.32 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง มีค่า 0.75 2.32 1.36 และ 0.22 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 6

ผลการศึกษาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในช่วง 0.00-0.03 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง มีค่า 0.02 0.02 0.03 และ 0.00 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 0.45-1.67 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำทำจิ้น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง มีค่า 1.65 1.67 0.45 และ 0.76 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ ชิงพื้นที่

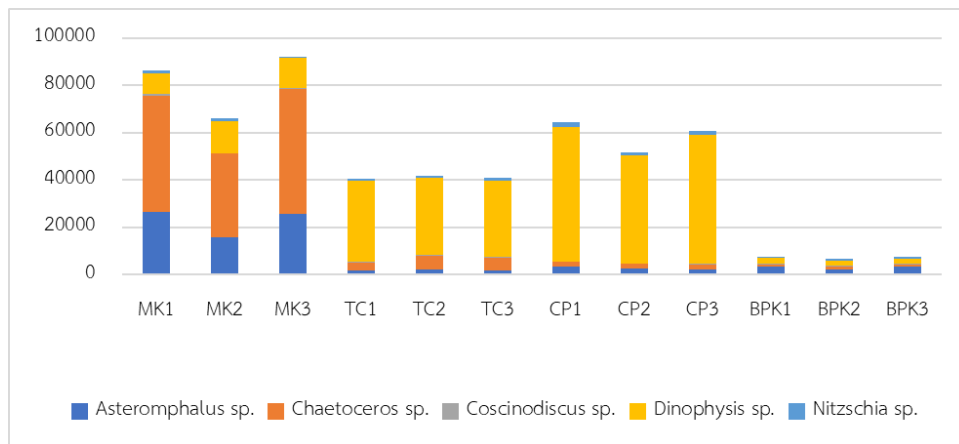


รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ ชิงพื้นที่

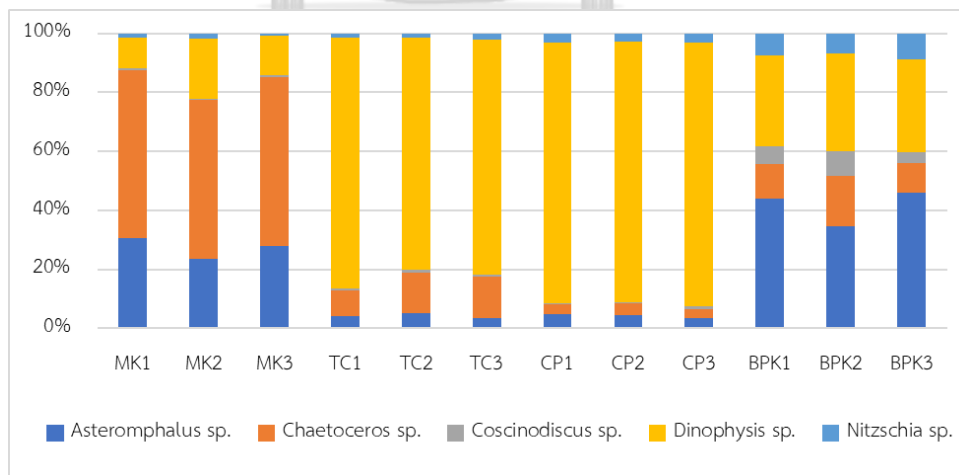
#### 4.1.3 ชนิดแพลงก์ตอนพืช

ผลการศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง มีความชุกชุมของแพลงก์ตอนทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ ไสยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) ไดอะตอม (diatom) และไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellate) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 178-565,319 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่

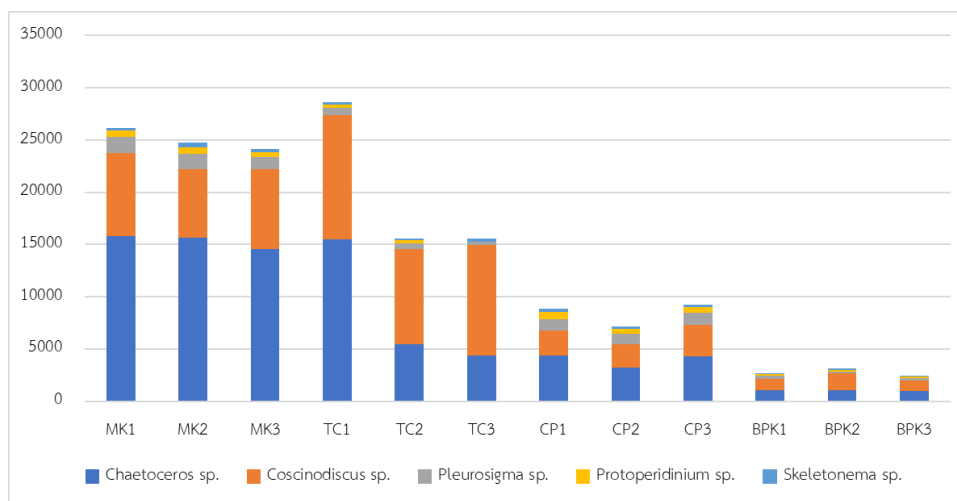
เป็นสกุลเด่นได้แก่ *Asteromphalus* sp. *Chaetoceros* sp. *Coscinodiscus* sp. *Dinophysis* sp. และ *Nitzschia* sp. (รูปที่ 8) และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 56-15,785 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่น ได้แก่ *Chaetoceros* sp. *Coscinodiscus* sp. *Pleurosigma* sp. *Protoperdinium* sp. และ *Skeletonema* sp. (รูปที่ 10)



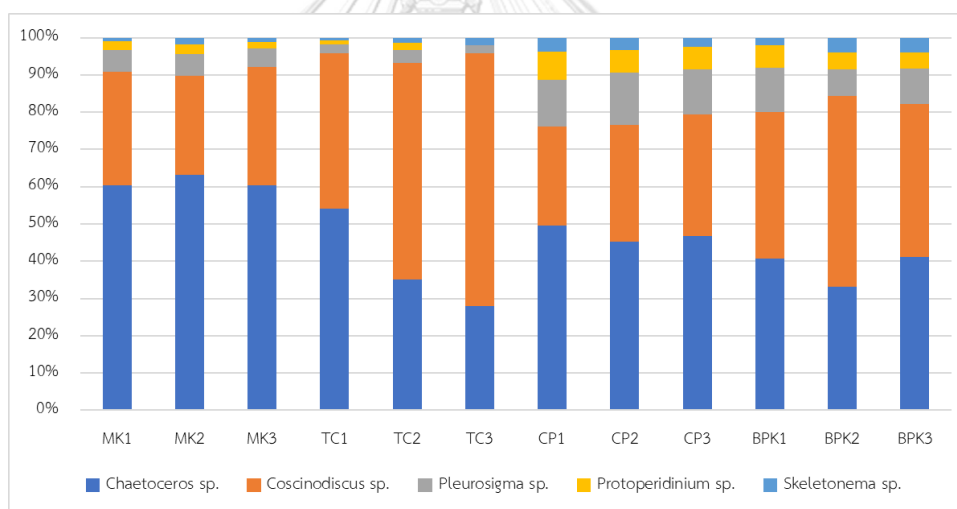
รูปที่ 8 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 9 แสดงเปอร์เซ็นต์ของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 10 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ถดุมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ถดุมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

## 4.2 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช บริเวณอ่าวไทยตอนใน

### 4.2.1 ปัจจัยสภาพแวดล้อม

การศึกษากำล้างสภาพแวดล้อมของงานวิจัยครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวไทยตอนใน จำนวน 14 สถานี ใน 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (9-12 ตุลาคม พ.ศ. 2562) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (8-12 มีนาคม พ.ศ.2563) ทำการวัดความลึก ความเค็ม อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พีเอช ด้วยเครื่องเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปร (YSI รุ่น 600XLM) และคลอโรฟิลล์เอ บริเวณอ่าวไทยตอนในความลึกของแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 4.8-22.5 เมตร สถานีที่มีความลึกน้อยที่สุด คือ สถานี St.5 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับฝั่งมากที่สุด และสถานีที่

มีความลึกมากที่สุด คือ สถานี St.18 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ห่างจากฝั่งมากที่สุด โดยระดับความลึกจะเพิ่มขึ้น เมื่อห่างจากฝั่งมากขึ้น ผลของการวัดความเค็มของแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 18.90- 31.56 พีเอชยู สถานีที่มีความเค็มต่ำที่สุดคือ สถานี St.3 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้ฝั่ง และสถานีที่มีความลึกมากที่สุด คือ สถานี St.20 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ห่างจากฝั่งออกไป ผลของการวัดอุณหภูมิของแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 28.59-31.41 องศาเซลเซียส สถานีที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือ สถานี St.4 และสถานีที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด คือ สถานี St.3 ซึ่งแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อุณหภูมิอาจจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานี ผลของการวัดพีเอชของแต่ละสถานีอยู่ในช่วง 7.63-8.97 สถานีที่มีพีเอชต่ำที่สุด คือ สถานี St.15 และสถานีที่มีพีเอชสูงที่สุด คือ สถานี St.3 ซึ่งแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ผลของการวัดออกซิเจนละลายน้ำของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 2.22-8.62 มิลลิกรัมต่อลิตร สถานีที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุด คือ สถานี St.18 และสถานีที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด คือ สถานี St.1 และผลของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ครึ่งอยู่ในช่วง 0.05-6.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ในการเก็บตัวอย่างทั้งสองครั้งสถานีที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่ำที่สุด คือ สถานี St.13 สถานีที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงที่สุด คือ สถานี St.1

**ตารางที่ 7** ปัจจัยสภาพแวดล้อมของน้ำทะเลบริเวณหน้าบริเวณอ่าวไทยตอนใน ของสถานีเก็บตัวอย่างที่ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (IM)

สถานี	ฤดู	Depth (m)	Salinity (PSU)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	Chla (µ/L)	SiO <sub>4</sub> (µM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µM)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µM)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM)
St.1	SW	9.2	23.35	30.04	8.39	7.17	3.77	10.78	0.26	0.11	0.06
St.2	SW	10.8	22.95	30.60	8.12	6.71	2.47	53.36	0.79	4.58	2.12
St.3	SW	9.3	18.90	31.41	8.97	8.30	0.86	22.95	0.84	0.09	0.24
St.4	SW	6.4	21.31	28.59	8.84	6.66	0.63	30.58	0.69	0.04	0.18
St.5	SW	4.8	21.19	29.11	8.84	5.39	2.48	37.12	0.40	0.16	0.12
St.6	SW	11	22.32	29.19	8.89	3.89	1.44	15.99	0.36	0.49	0.07
St.8	SW	16.2	21.70	30.25	8.90	8.61	1.97	35.58	0.07	0.05	0.18
St.10	SW	16	30.47	29.02	8.38	7.00	0.37	10.42	0.17	0.11	0.24
St.11	SW	18.3	30.86	29.27	8.73	3.58	0.30	1.35	0.88	0.07	0.27
St.13	SW	17.8	30.39	29.14	8.58	4.79	0.80	1.81	0.03	0.08	0.34
St.15	SW	17.3	24.30	30.14	8.64	4.96	0.83	12.28	0.46	0.15	0.28
St.16	SW	18.7	25.48	30.94	8.80	5.41	1.11	14.39	0.61	0.16	0.24
St.18	SW	21.5	30.63	28.89	8.68	6.86	0.17	0.01	0.12	0.24	0.27
St.20	SW	16.3	31.26	29.56	8.59	3.55	0.56	3.26	0.40	0.04	0.40
St.1	IM	9.4	29.89	29.41	8.53	8.62	6.10	57.05	0.35	0.07	0.62
St.2	IM	10.6	30.01	29.67	8.44	8.55	3.42	41.21	0.49	0.20	0.25
St.3	IM	8.7	30.71	29.60	8.36	4.26	1.22	39.74	0.30	0.32	0.70

St.4	IM	6.4	29.87	29.90	8.50	4.65	0.68	32.79	0.11	0.35	0.43
St.5	IM	7	28.22	29.94	8.63	3.08	0.29	35.74	0.86	0.07	0.34
St.6	IM	12.9	31.30	28.84	8.50	4.14	0.41	16.95	0.21	0.05	0.44
St.8	IM	15.7	31.41	29.82	8.21	3.08	0.52	10.68	0.53	0.02	0.56
St.10	IM	15.5	31.08	29.16	7.75	5.70	1.54	24.58	0.44	0.06	0.40
St.11	IM	19.1	31.48	29.46	8.30	2.54	0.53	7.11	0.77	0.07	0.28
St.13	IM	19.5	31.54	29.07	8.53	6.51	0.06	2.53	0.16	0.07	0.17
St.15	IM	17.5	31.40	29.18	7.63	2.70	1.33	57.05	0.35	0.07	0.62
St.16	IM	17.7	31.54	29.34	7.96	2.54	1.24	41.21	0.49	0.20	0.25
St.18	IM	22.5	31.51	29.12	8.50	2.22	0.16	1.89	0.16	0.03	0.38
St.20	IM	19.7	31.56	29.27	8.31	2.65	0.93	4.84	0.91	0.03	0.38

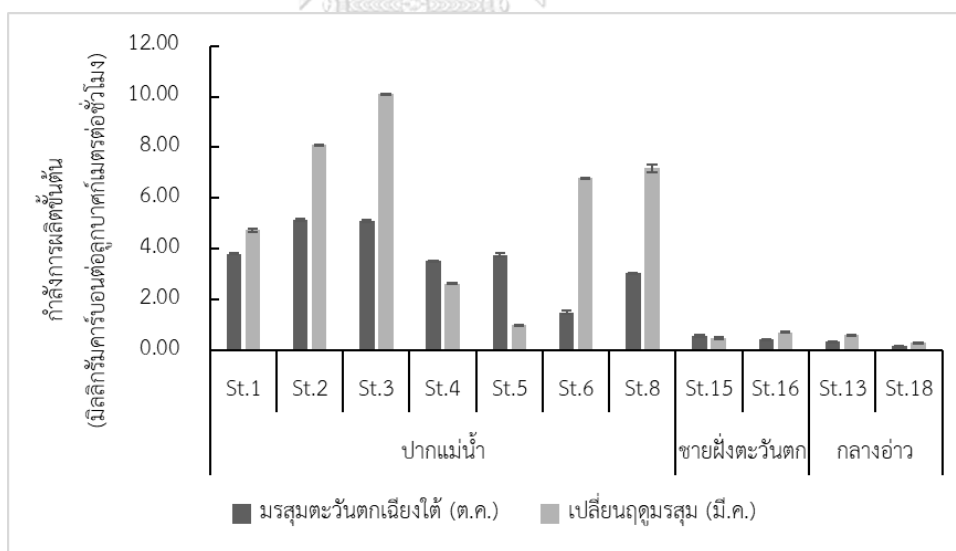
#### 4.2.2 กำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซ ด้วยวิธีคาร์บอน-13

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซ ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อยู่ในช่วง 0.15-5.15 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บริเวณสถานีปากแม่น้ำ ได้แก่ St.1 St.2 St.3 St.4 St.5 St.6 และ St.8 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 3.79 5.15 5.09 3.51 3.77 1.50 และ 3.04 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ บริเวณชายฝั่งตะวันตก ได้แก่ St.15 และ St.16 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 0.55 และ 0.42 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บริเวณกลางอ่าว ได้แก่ St.13 และ St.18 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 0.33 และ 0.15 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สถานีที่มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นต่ำที่สุด คือ St.18 และสถานีที่มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นสูงที่สุดคือ St.2 นอกจากนี้ยังทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแผงก่ตอนพีซ ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม กำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงฤดูร้อนอยู่ในช่วง 0.30-10.09 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บริเวณสถานีปากแม่น้ำ ได้แก่ St.1 St.2 St.3 St.4 St.5 St.6 และ St.8 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 4.73 8.09 10.09 2.63 1.00 6.79 และ 7.17 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ บริเวณชายฝั่งตะวันตก ได้แก่ St.15 และ St.16 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 0.47 และ 0.70 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บริเวณกลางอ่าว ได้แก่ St.13 และ St.18 มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น 0.59 และ 0.30 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สถานีที่มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นต่ำที่สุด คือ St.18 และสถานีที่มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นสูงที่สุดคือ St.3 ดังรูปที่ 12

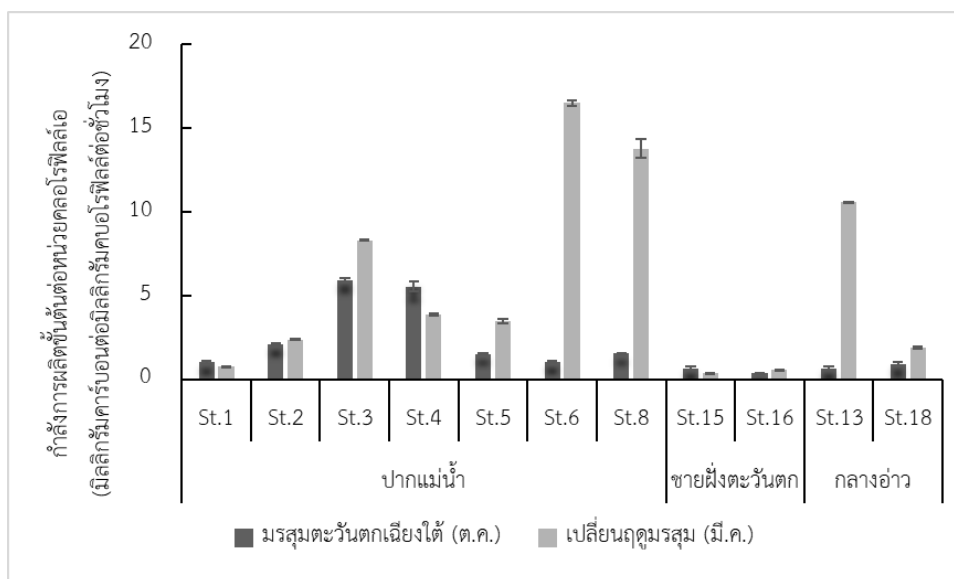
ผลการศึกษาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคอลโรฟิลล์เอของแผงก่ตอนพีซ ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่า ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคอลโรฟิลล์เอในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อยู่ในช่วง 0.38-5.92 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคอลโรฟิลล์ต่อชั่วโมง บริเวณสถานีปากแม่น้ำ ได้แก่ St.1 St.2 St.3 St.4 St.5 St.6 และ St.8 มี



ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 1.02 2.08 5.92 5.54 1.52 1.05 และ 1.55 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณชายฝั่งตะวันตก ได้แก่ St.15 และ St.16 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 0.66 และ 0.38 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง บริเวณกลางอ่าว ได้แก่ St.13 และ St.18 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 0.67 และ 0.89 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง สถานที่ที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ ต่ำที่สุด คือ St.16 และสถานที่ที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ สูงที่สุดคือ St.3 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ อยู่ในช่วง 0.35-16.50 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง บริเวณสถานีปากแม่น้ำ ได้แก่ St.1 St.2 St.3 St.4 St.5 St.6 และ St.8 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 0.78 2.36 8.30 3.87 3.49 16.50 และ 13.76 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณชายฝั่งตะวันตก ได้แก่ St.15 และ St.16 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 0.35 และ 0.56 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง บริเวณกลางอ่าว ได้แก่ St.13 และ St.18 มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ 10.56 และ 1.88 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง สถานที่ที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ ต่ำที่สุด คือ St.15 และสถานที่ที่มีประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ สูงที่สุด คือ St.6 ดังรูปที่ 13



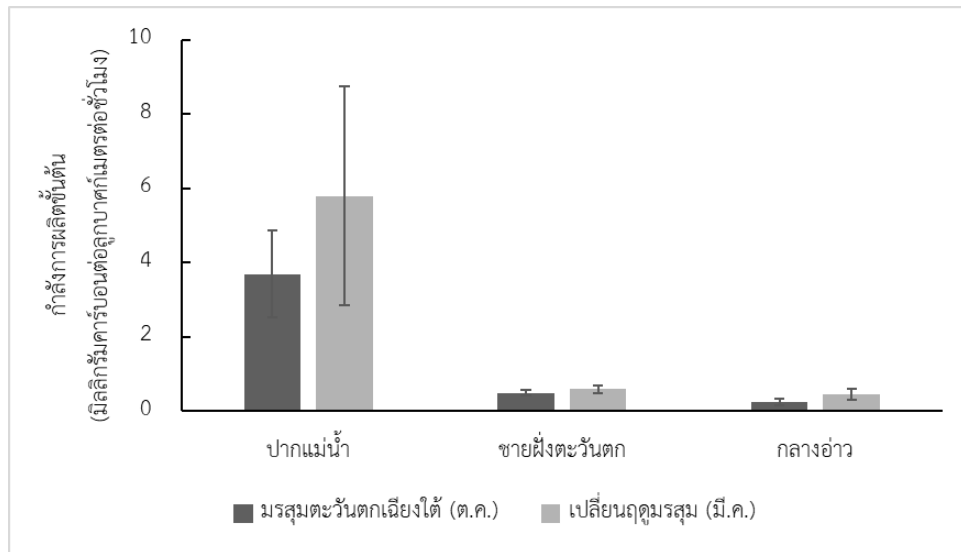
รูปที่ 12 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงสถานี



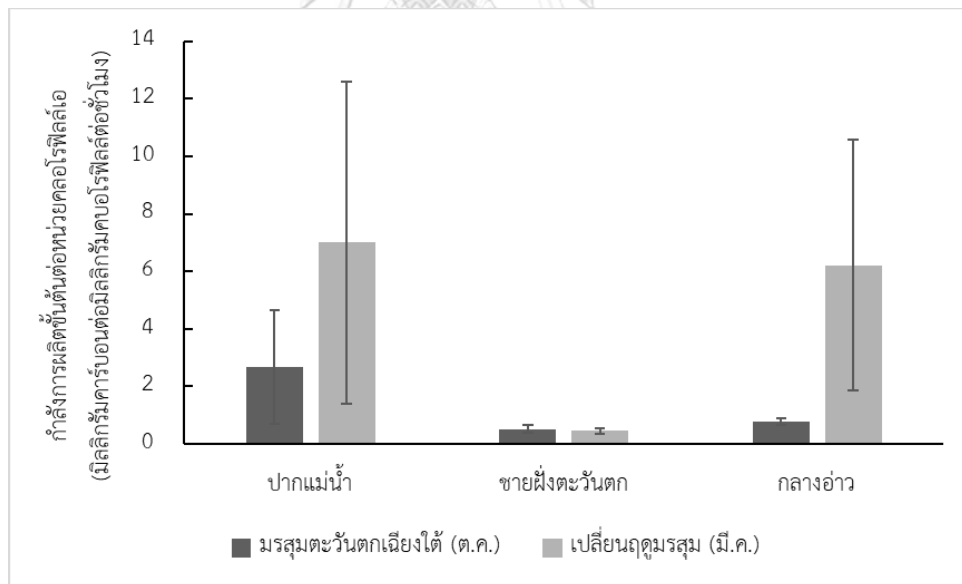
รูปที่ 13 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงธานี

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่า ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในช่วง 0.24-3.69 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว มีค่า 3.69 0.49 และ 0.24 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 0.45-5.79 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว มีค่า 5.79 0.58 และ 0.45 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 14

ผลการศึกษาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในช่วง 0.52-2.67 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว มีค่า 2.67 0.52 และ 0.78 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่า ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 0.46-6.22 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณปากแม่น้ำ ชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว มีค่า 7.01 0.46 และ 6.22 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 แสดงกำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงพื้นที่

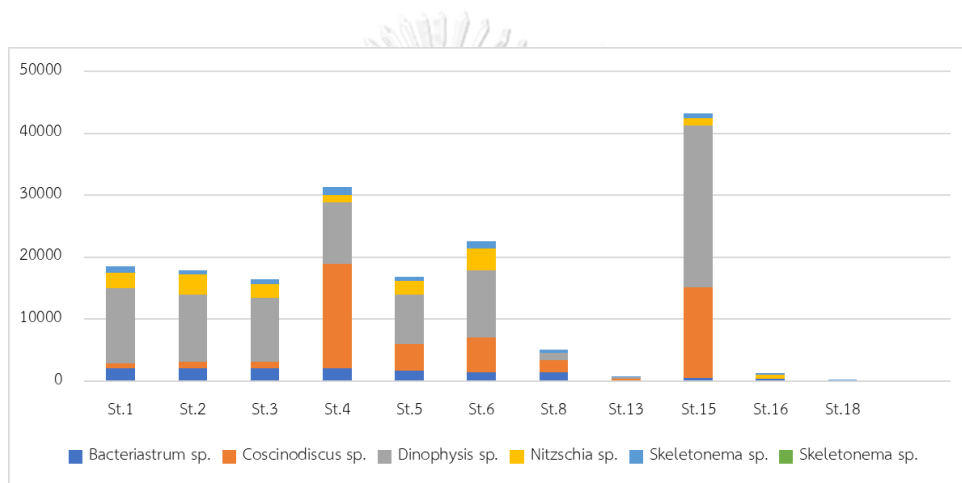


รูปที่ 15 แสดงประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอบริเวณอ่าวไทยตอนใน เชียงพื้นที่

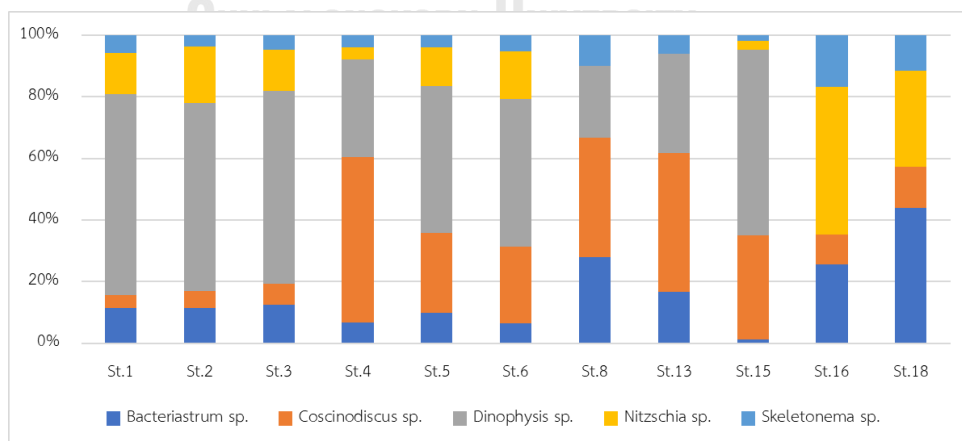
#### 4.2.3 ชนิดแพลงก์ตอนพืช

ผลการศึกษานิตของแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน มีความชุกชุมของแพลงก์ตอนทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ ไชยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) ไดอะตอม (diatom) และไดโนแฟลกเจล

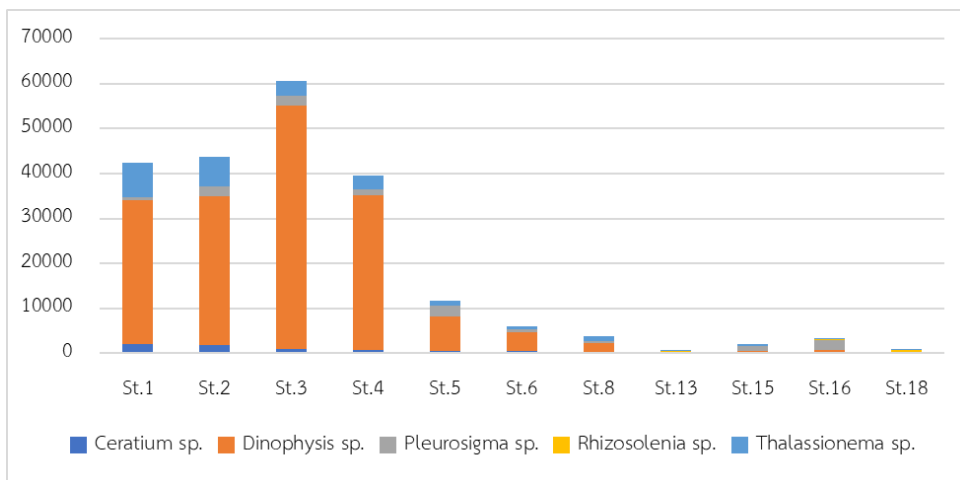
เลต (dinoflagellate) ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 20-26,053 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่น ได้แก่ *Bacteriastrum* sp. *Coscinodiscus* sp. *Dinophysis* sp. *Nitzschia* sp. และ *Skeletonema* sp. (รูปที่ 16) และในฤดูช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 36-54,326 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่น ได้แก่ *Ceratium* sp. *Dinophysis* sp. *Pleurosigma* sp. *Rhizosolenia* sp. และ *Thalassionema* sp. (รูปที่ 19)



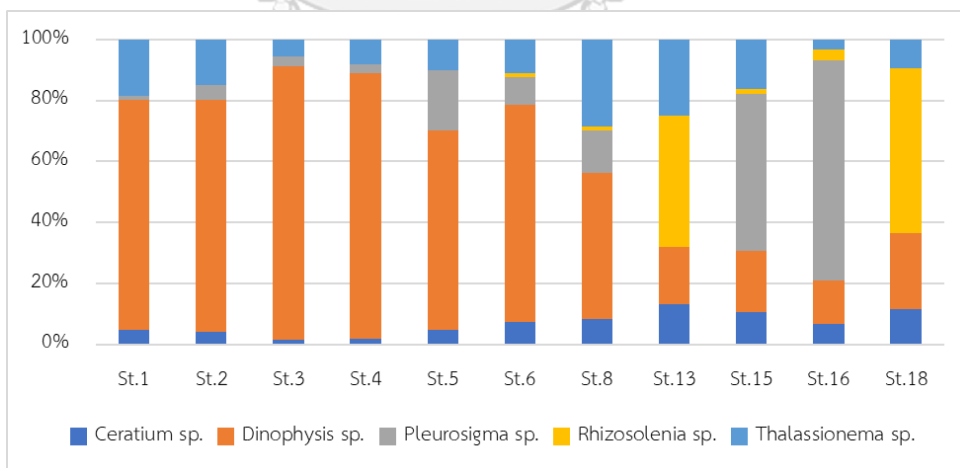
รูปที่ 16 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 17 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



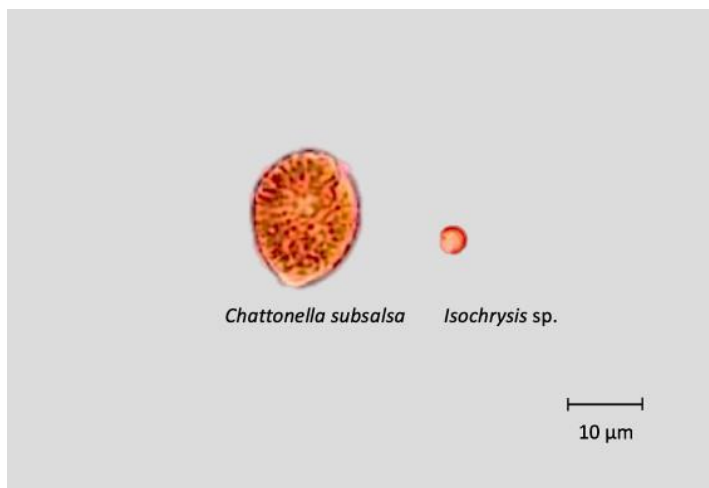
รูปที่ 18 แสดงแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม



รูปที่ 19 แสดงเปอร์เซ็นต์แพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวไทยตอนใน ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม

#### 4.3 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ในห้องปฏิบัติการ

##### 4.3.1 การเติบโต



รูปที่ 20 แพลงก์ตอนพืช *Chattonella subsalsa* แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis sp.* (กำลังขยาย 40 เท่า)

จากงานวิจัยของสุนิดา ปานเพชร (2662) ได้ทำการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืช *Chattonella sp.* และ *Isochrysis sp.* ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว ในอาหารเหลวสูตร T1 ที่ความเข้มข้น 100% ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น 500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ความเค็ม 28 พีพีที เป็นเวลา 20 วัน ในสภาวะเลี้ยงรวม ได้ทำการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดได้แก่ *Chattonella sp.* และ *Isochrysis sp.* ในอาหารเหลวสูตร T1 ที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น 500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ความเค็ม 28 พีพีที เป็นเวลา 19 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 วัน เช่นเดียวกับการทดลองของสุนิดา ปานเพชร ซึ่งทั้งในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวและสภาวะเลี้ยงรวมมีลักษณะสี และรูปร่างไม่แตกต่างกัน แต่จะมีขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกันในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวจะมีขนาดเซลล์ใหญ่กว่าสภาวะเลี้ยงรวม และในสภาวะเลี้ยงรวม พบว่า ขนาดเซลล์แปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร โดยผู้วิจัยเลือกวัดขนาดเซลล์ในวันที่มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด ดังตารางที่ 8

แพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด *Chattonella sp.* และ *Isochrysis sp.* ทำการเพาะเลี้ยงร่วมกัน อาหารเหลวสูตร T1 ที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้นชนิดละ 500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ความเค็ม 28 พีพีที เป็นเวลา 19 วัน พบว่า ความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด แปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร และเมื่อความเข้มข้นของสารอาหารลดต่ำลง ช่วงชีวิตก็สั้นลง นอกจากนี้ ยังพบว่า เมื่อสารอาหารมีปริมาณสูง (100% T1) ความหนาแน่นเซลล์สูงสุดของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella sp.* สูงขึ้น 56.93 เปอร์เซ็นต์ และแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis sp.* ลดลง 42.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับภาวะเลี้ยงเดี่ยว และวันที่ความหนาแน่นเซลล์สูงสุดจะช้าออกไป เป็นวันที่ 11 และ 17 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis sp.* ในสภาวะเลี้ยงรวม ที่สารอาหารมีปริมาณสูง มีการเติบโตที่ไม่ดีนัก ซึ่งตรงกันข้ามกับแพลงก์ตอนพืช *Chattonella sp.*



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

ตารางที่ 8 ขนาดและปริมาตรเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ณ วันที่มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด

แพลงก์ตอน พืช	ภาวะเลี้ยงเดี่ยว				ภาวะเลี้ยงรวม			
	100% T1		100% T1		50% T1		1% T1	
	ขนาด	ปริมาตร	ขนาด	ปริมาตร	ขนาด	ปริมาตร	ขนาด	ปริมาตร
<i>Chattonella</i>	23.18 ±	552.20	22.94 ±	514.41	21.11 ±	441.31	20.52 ±	404.97
<i>subsalsa</i>	3.32 (ก)		3.20 (ก)		2.21 (ก)		1.86 (ก)	
	30.35 ±		28.57 ±		26.63 ±		25.15 ±	
	3.38 (ย)		4.18 (ย)		3.36 (ย)		3.34 (ย)	
<i>Isochrysis</i>	4.33 ±	42.47	4.20 ±	38.71	4.06 ±	34.91	3.99 ±	33.11
sp.	0.77		0.51		0.43		0.35	

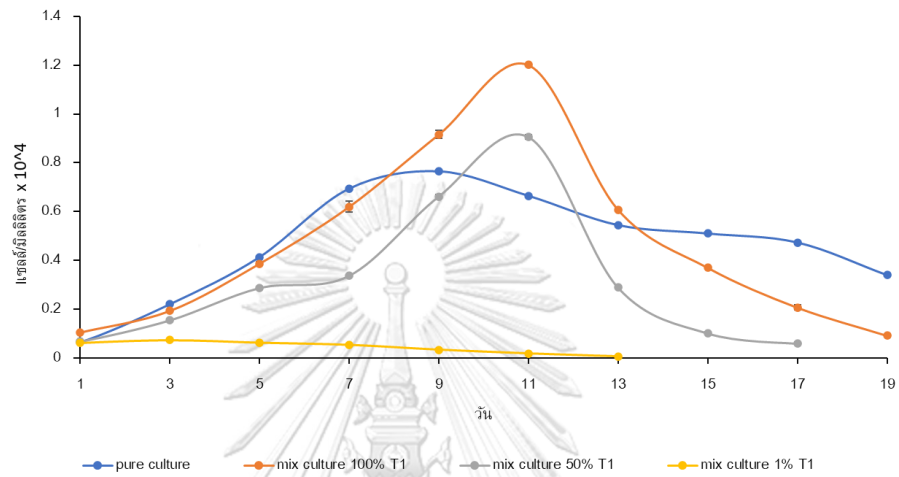
หมายเหตุ: (ก) และ (ย) คือ ความกว้างและความยาวเฉลี่ยของเซลล์; ขนาดและปริมาตร ในหน่วยไมโครเมตรและลูกบาศก์ไมโครเมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 22 พบว่า แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง  $0.5-0.76 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยมีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 9 ของการทดลองมีค่าเฉลี่ย  $0.76 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นมีการลดจำนวนลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด  $1.2 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร  $0.91 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ  $0.07 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งแพลงก์ตอนพืชสามารถเจริญได้ดีที่ความเข้มข้น 100% และ 50% จะมีความหนาแน่นของเซลล์หนาแน่นสูงสุดในวันที่ 11 โดยความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร ที่ความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลองจากนั้นค่อยๆลดลงจนจบการทดลอง

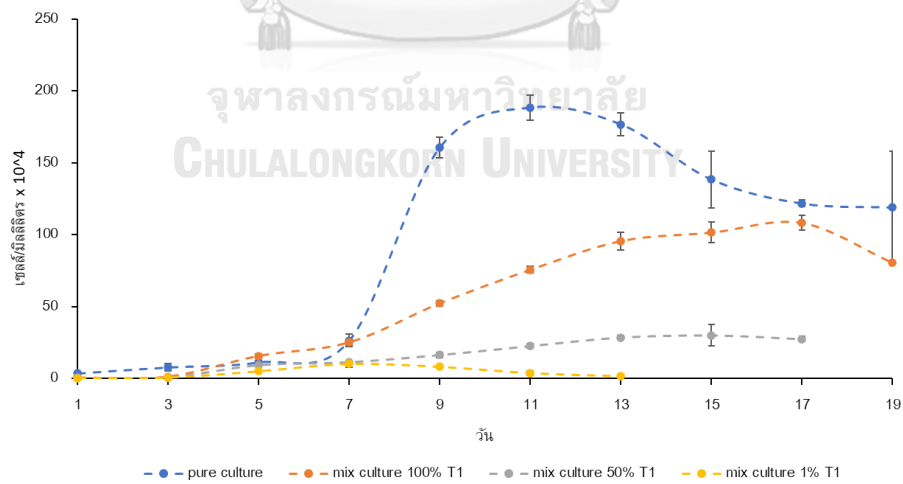
จากรูปที่ 23 พบว่า แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง  $0.5-188.3 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยมีการเพิ่มจำนวนอย่างช้าๆในช่วงสัปดาห์แรก มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 11 ของการทดลองมีค่าเฉลี่ย  $188.3 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นมีการลดจำนวนลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด  $108.14 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร  $30 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ  $10.18 \times 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 100% มีความหนาแน่นของเซลล์หนาแน่นสูงสุดในวันที่ 17 ที่ความเข้มข้น 50% มีความหนาแน่นของเซลล์หนาแน่นสูงสุดในวันที่ 15 และความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลองจากนั้นค่อยๆลดลงจนจบการทดลอง แสดงให้เห็นว่าในสภาวะเลี้ยงรวมแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ที่สารอาหารปริมาณสูงมีการเจริญเติบโต



ไตไม่ตีนัก ซึ่งตรงข้ามกับแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีสารอาหารปริมาณสูง



รูปที่ 21 การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



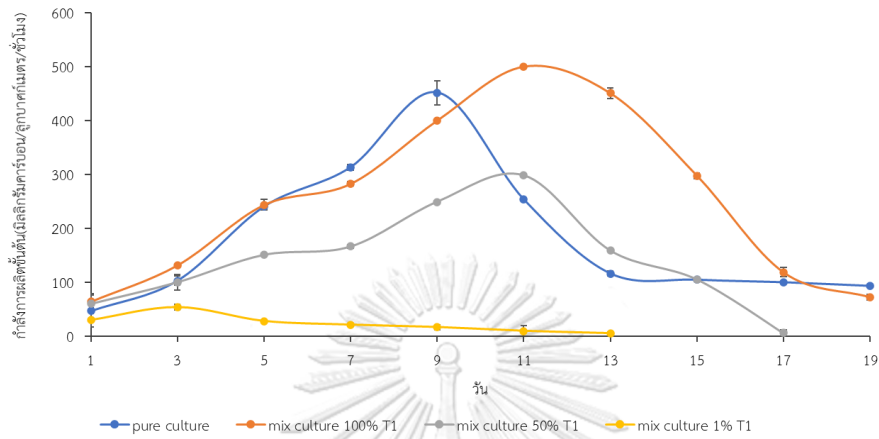
รูปที่ 22 การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.

#### 4.3.2 กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลาย

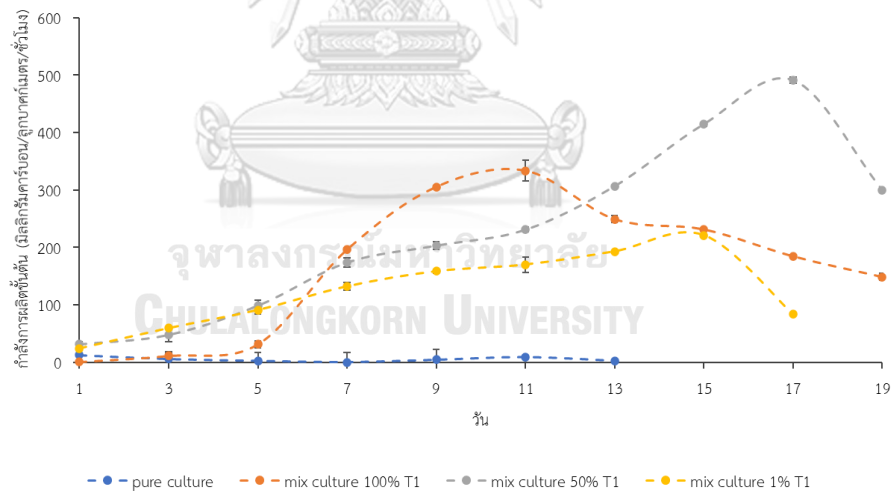
กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. มีความสอดคล้องกับการเติบโต โดยมีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด ในวันที่ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (100% 50% และ 1% T1) คือ วันที่ 11 11 3 และ 17 15 7 ของการทดลอง ตามลำดับ และแปรผันตามความหนาแน่นเซลล์ นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อสารอาหารมีปริมาณสูง (100% T1) กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด สูงขึ้น 10.72% และ 47.27% เมื่อเทียบกับภาวะเลี้ยงเดี่ยว และวันที่กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดจะช้าออกไป เป็นวันที่ 11 และ 17 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับความหนาแน่นเซลล์ จะเห็นว่า แม้แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. จะมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด ลดลง 42.58% แต่กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด สูงขึ้นถึง 47.27% ในขณะที่แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด สูงขึ้น 56.93% แต่กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด สูงขึ้นเพียง 10.72% เมื่อเทียบกับภาวะเลี้ยงเดี่ยว กล่าวโดยสรุป คือ ในภาวะเลี้ยงรวม ที่สารอาหารมีปริมาณสูง (100% T1) ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. จึงปรับตัว โดยการลดจำนวนเซลล์ แต่เพิ่มรงควัตถุภายในเซลล์แทน ในขณะที่สารอาหารปริมาณสูงเหมาะกับการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. เพราะมีพื้นที่เซลล์ที่มากกว่า ดูสารอาหารได้ดีกว่า จึงไม่ต้องปรับตัวมากนัก กำลังการผลิตขั้นต้นจึงสูงขึ้นไม่มาก เมื่อเทียบกับแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.

จากรูปที่ 24 พบว่า แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีกำลังการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 46.64-451.87 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีการเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 9 ของการทดลอง มีค่าเฉลี่ย 451.87 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีกำลังการผลิตขั้นต้นอยู่สูงสุด 500.31 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 298.40 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 53.90 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 100% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 9 ที่ความเข้มข้น 50% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 11 และที่ความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 3 ของการทดลอง จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนจบการทดลอง

จากรูปที่ 25 พบว่า แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีกำลังการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 0.47-333.55 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีการเพิ่มปริมาณอย่างช้าๆ ในช่วงสัปดาห์แรก มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 11 ของการทดลอง มีค่าเฉลี่ย 333.55 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 491.22 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 221.18 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 115.67 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 100% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 17 ที่ความเข้มข้น 50% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 15 และที่ความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 7 ของการทดลอง จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนจบการทดลอง



รูปที่ 23 กำลังการผลิตขั้นของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



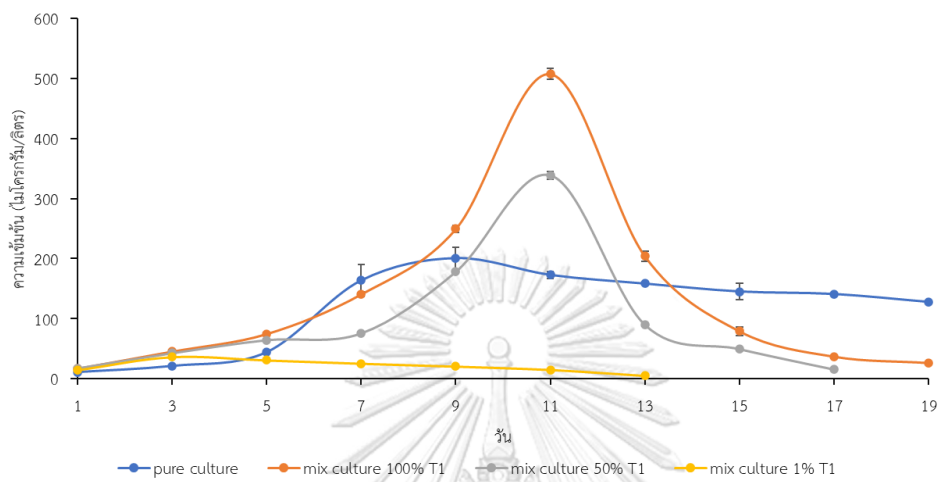
รูปที่ 24 กำลังการผลิตขั้นของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.

#### 4.3.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

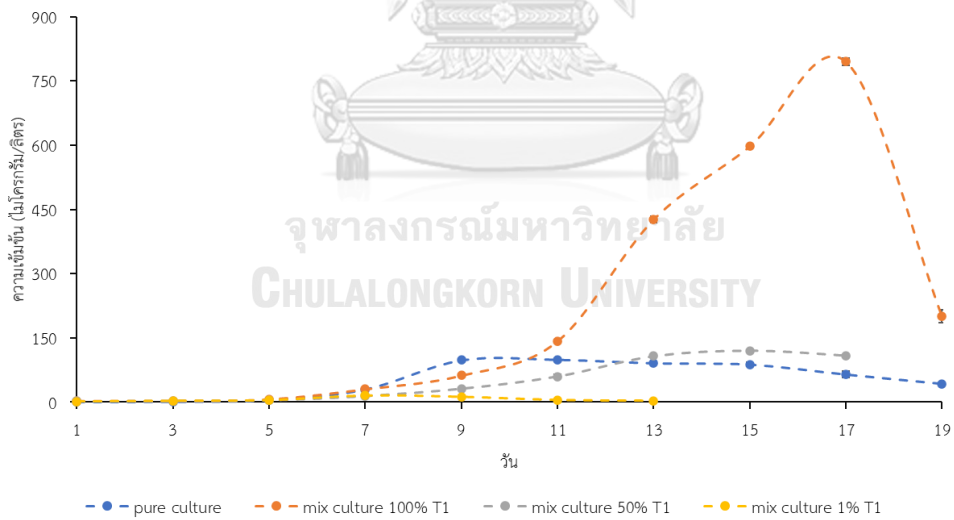
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. มีความสอดคล้องกับการเติบโต และกำลังการผลิตขั้นต้น โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด ในวันที่ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด และกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด (100% 50% และ 1% T1) คือ วันที่ 11 11 3 และ 17 15 7 ของการทดลอง ตามลำดับ ในวันที่แรกของการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีค่าสูงกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. เนื่องจากขนาดเซลล์ที่ใหญ่กว่า จึงมีปริมาณรงควัตถุในเซลล์มากกว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด 507.72 339.02 และ 36.36 ไมโครกรัมต่อลิตร (100% 50% และ 1% T1) ในวันที่ 11 11 และ 3 ของการทดลอง ตามลำดับ โดยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรก และเพิ่มอย่างต่อเนื่อง มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด 794.90 120.31 และ 16.30 ไมโครกรัมต่อลิตร (100% 50% และ 1% T1) ในวันที่ 17 15 และ 7 ของการทดลอง ตามลำดับ หลังจากวันที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด แพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับความหนาแน่นเซลล์แพลงก์ตอนพืชที่ลดลงเช่นกัน

จากรูปที่ 26 พบว่า แพลงก์ตอน *Chattonella* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ อยู่ในช่วง 11.09-200.75 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุดในวันที่ 9 ของการทดลองมีค่าเฉลี่ย 200.75 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุด 507.72 ไมโครกรัมต่อลิตร 339.02 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 36.35 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 100% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 17 ที่ความเข้มข้น 50% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 15 และที่ความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 7 ของการทดลอง จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนจบการทดลอง

จากรูปที่ 27 แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ อยู่ในช่วง 0.09-99.54 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุดในวันที่ 11 ของการทดลองมีค่าเฉลี่ย 99.54 ไมโครกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีปริมาณคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 2.80-794.89 ไมโครกรัมต่อลิตร 2.04-120.30 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.99-16.30 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้น 100% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 17 ที่ความเข้มข้น 50% มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 15 และที่ความเข้มข้น 1% มีความหนาแน่นสูงสุดในวันที่ 7 ของการทดลอง จากนั้นค่อยๆ ลดลงจนจบการทดลอง



รูปที่ 25 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



รูปที่ 26 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.

#### 4.3.4 ความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตขั้นต้น คลอโรฟิลล์เอ และเซลล์

การศึกษา กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. ในห้องปฏิบัติการ ทั้งในภาวะเลี้ยงเดี่ยวและเลี้ยงรวม มีความสอดคล้องกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่นเซลล์ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณสารอาหาร เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ พบว่า ทั้งในภาวะเลี้ยงเดี่ยวและเลี้ยงรวม ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (รูปที่ 30) มีความสัมพันธ์กับการเติบโตของเซลล์ โดยจะมีค่าสูง ในช่วงเริ่มต้นของการเติบโต ซึ่งเซลล์มีอายุน้อย แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ในระดับที่ต่ำกว่า แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. คือ ในช่วง 0.41-5.44 และ 0.62-20.78 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ในภาวะเลี้ยงเดี่ยว พบว่าค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ สูงในช่วงแรก และอีกช่วงที่กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุดในวันที่ 9 ขณะที่ภาวะเลี้ยงรวม ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ลดลงเล็กน้อย ตามปริมาณสารอาหารที่ลดลง อาจกล่าวได้ว่า ในภาวะเลี้ยงรวม แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ไม่ได้ปรับตัว โดยการเพิ่มค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ แต่ปรับตัว โดยการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ (รูปที่ 32) ซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้น (100% และ 50% T1) เมื่อเทียบกับภาวะเลี้ยงเดี่ยว และมีระดับที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อสารอาหารมีความเข้มข้นต่ำ (1% T1) ซึ่งไม่เหมาะกับการเติบโตของเซลล์ขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ (รูปที่ 34) พบว่าทั้งในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวและเลี้ยงรวม ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ ของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ไม่เป็นไปตามแนวโน้มใด แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 11 ของการทดลอง พบว่าในภาวะเลี้ยงเดี่ยว ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ มีค่าลดลง ในขณะที่ในสภาวะเลี้ยงรวม (100% 50% และ 1% T1) ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากในภาวะเลี้ยงเดี่ยวเซลล์แก่ และปริมาณสารอาหารที่ลดลง จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ลดลงตามไปด้วย ในขณะที่ภาวะเลี้ยงรวมแพลงก์ตอนเกิดภาวะแข่งขัน ในการแย่งสารอาหาร จึงทำให้จึงทำให้ค่า ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ลดลงตามไปด้วย

ส่วนแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ในภาวะเลี้ยงเดี่ยว มีค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ (รูปที่ 31) สูงในวันที่ 3 และในภาวะเลี้ยงรวม มีค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ระดับสูง ในช่วง 5 วันแรก สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ ในภาวะเลี้ยงรวม พบว่า มีปริมาณที่สูงกว่าภาวะเลี้ยงเดี่ยวมาก โดยมีปริมาณมาก ในช่วง 3 วันแรก และช่วงที่ความหนาแน่นเซลล์สูง หรืออาจกล่าวได้ว่าในภาวะเลี้ยงรวม นาโนแพลงก์ตอนพืชปรับตัว โดยในช่วงแรก นอกจากค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอจะสูง ในระยะเวลาที่ยาวขึ้นแล้ว ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ยังสูงด้วย (รูปที่ 33) โดยค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ค่อนข้างคงที่ ไม่แปรผันตามปริมาณสารอาหาร (100% 50% และ 1% T1) ค่าอาจลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับภาวะเลี้ยงเดี่ยว ที่ 100% T1 แต่ก็ปรับสูงขึ้น เมื่อสารอาหารมีปริมาณลดลง (50% และ 1% T1) นอกจากนี้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ยังเพิ่มในช่วงที่ความหนาแน่นเซลล์สูง ทำให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูง แม้พบว่า ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ ต่ำในช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ (รูปที่ 35) พบว่า สภาวะเลี้ยงเดี่ยวมีค่าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ในภาวะเลี้ยงรวม (100% 50% และ 1% T1) ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์สูงในช่วง 3 วันแรกของการทดลอง เนื่องจากเป็นช่วงที่เซลล์มีอายุน้อย และมีประสิทธิภาพในการสร้างกำลังการผลิตขั้นต้น แต่เมื่อ

ถึงวันที่ 5 ของการทดลอง ทั้งในภาวะเลี้ยงและเลี้ยงรวม ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์ มีค่าค่อนข้างคงที่ไม่แปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร

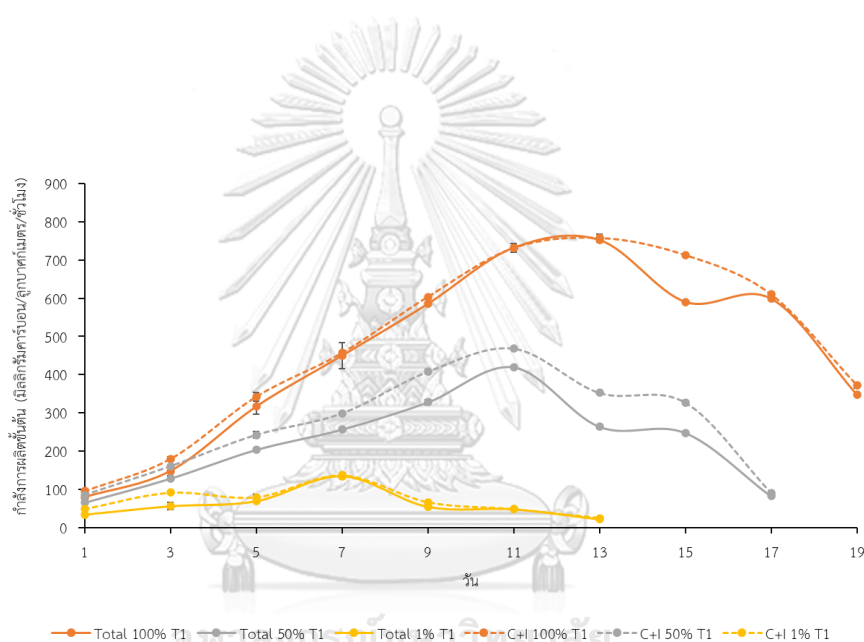
จากรูปที่ 29 เมื่อเราหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% จากนั้นนำมาแยกเพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอระหว่างแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ และแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอรวม มีค่าเท่ากับผลรวมของคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าจะหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ขณะเลี้ยงรวม หรือนำมาแยกเพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ระหว่างแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ และแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ดังนั้น สามารถยืนยันได้ว่า การทดลองมีความน่าเชื่อถือ เช่นเดียวกับ กำลังการผลิตขั้นต้น จากรูปที่ 28 พบว่า กำลังการผลิตขั้นต้นรวม ที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีแนวโน้มเหมือน ผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด แต่กลับพบว่า ในสภาวะเลี้ยงรวม ที่ความเข้มข้น 50% ผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด มีค่าสูงกว่า กำลังการผลิตขั้นต้นรวม ซึ่งคาดว่า ผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด จะมีค่าต่ำกว่า กำลังการผลิตขั้นต้นรวม (รูปที่ 24) ทั้งนี้คาดว่า เมื่อแพลงก์ตอนพืชถูกเลี้ยงในสภาวะเลี้ยงรวม เกิดภาวะแข่งขัน เมื่อนำมาแยกอย่างกะทันหัน ทำให้แพลงก์ตอนพืชเกิดภาวะความเครียดเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงส่งผลให้ ผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดสูงกว่า กำลังการผลิตขั้นต้นรวม

ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. จากรูปที่ 30 พบว่า ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว มีค่าสูงในช่วงสัปดาห์แรก ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์มีอายุน้อย และเป็นช่วงเริ่มต้นของการเจริญเติบโต และช่วงที่มีกำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด ในวันที่ 9 ของการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.41-5.44 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง เมื่ออยู่ในสภาวะเลี้ยงรวม ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีระดับลดลงเล็กน้อย ตามปริมาณสารอาหารที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ไม่ได้ปรับตัวโดยการเพิ่มประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ แต่ปรับตัวโดยการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะเลี้ยงเดี่ยว (รูปที่ 32) ส่วนแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก *Isochrysis* sp. ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จากรูปที่ 31 พบว่า ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว มีค่าสูงในวันที่ 3 ของการทดลอง เมื่ออยู่ในสภาวะเลี้ยงรวม มีค่าสูงในช่วง 5 วันแรกของการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์มีอายุน้อย และเป็นช่วงเริ่มต้นของการเจริญเติบโตมี ค่าอยู่ในช่วง 0.61-20.78 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ในสภาวะเลี้ยงรวมแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กมีการปรับตัว โดยการเพิ่มประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ในระยะเวลาที่ยาวขึ้นแล้ว ยังเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ให้สูงขึ้นด้วย (รูปที่ 33)

คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ในสภาวะเลี้ยงรวม ที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% จากรูปที่ 32 พบว่า มีปริมาณสูงกว่าสภาวะเลี้ยงเดี่ยวอยู่มาก และมีระดับที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อสารอาหารมีความเข้มข้นต่ำ (1%T1) แสดงให้เห็นว่า ในสภาวะที่สารอาหารน้อยแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโต แต่แพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่มีการปรับตัวโดยการเพิ่มประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ (รูปที่ 30) กล่าวคือเป็นการปรับตัวโดยเพิ่มคลอโรฟิลล์เอ ในเซลล์ให้มากขึ้น ส่วนแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก *Isochrysis* sp. คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ จากรูปที่ 33 พบว่า ในสภาวะเลี้ยงรวม ที่ความเข้มข้น 100% 50% และ 1% มีปริมาณสูงกว่าสภาวะเลี้ยงเดี่ยว ในช่วง 3 วันแรกของการทดลองอยู่มาก เนื่องจากในช่วงแรกเซลล์ขนาดเล็กจะสร้างคลอโรฟิลล์เอมากกว่า สร้างผนังเซลล์ และในช่วงที่ความหนาแน่นเซลล์สูง ในสภาวะเลี้ยงรวม

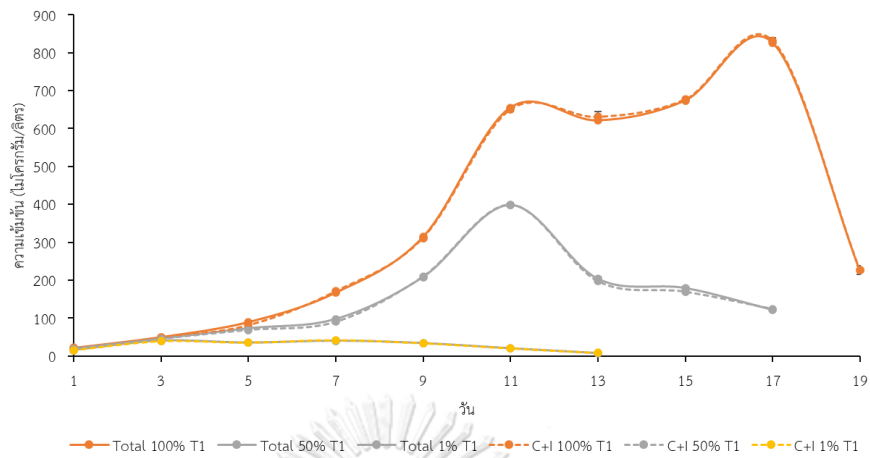
แพลงก์ตอนพีชขนาดเล็กสามารถปรับตัวได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพีชขนาดใหญ่ โดยมีการปรับตัวโดยการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ให้สูงขึ้น

กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพีช *Chattonella* sp. จากรูปที่ 34 พบว่า มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์สูงในช่วงที่มีความหนาแน่นเซลล์สูง ซึ่งแตกต่างจาก กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพีช *Isochrysis* sp. จากรูปที่ 35 พบว่า มีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์สูงในช่วงแรกของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ (รูปที่ 33) ในช่วงหลังของการทดลอง เซลล์ขนาดเล็กมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ จึงส่งผลให้ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์น้อย แสดงให้เห็นว่า แพลงก์ตอนพีช *Isochrysis* sp. (speed up) ช่วงแรกได้ดีกว่า

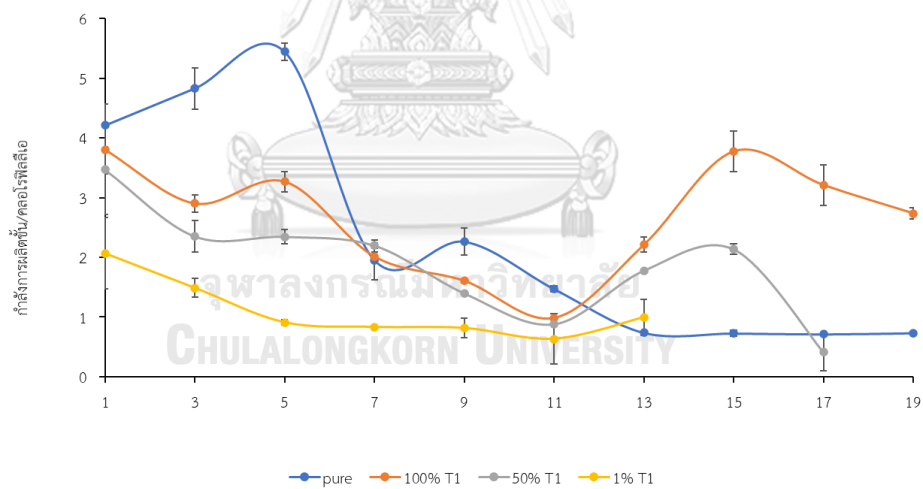


รูปที่ 27 การเปรียบเทียบกำลังการผลิตขั้นต้นรวม (Total) และผลรวมของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพีชทั้งสองชนิด (C+) ในสารอาหาร T1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ (100% 50% และ 1%)

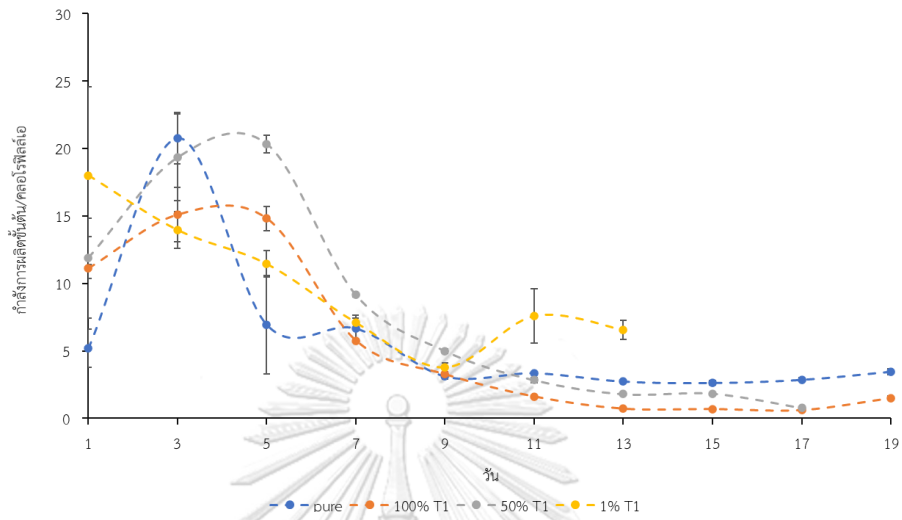




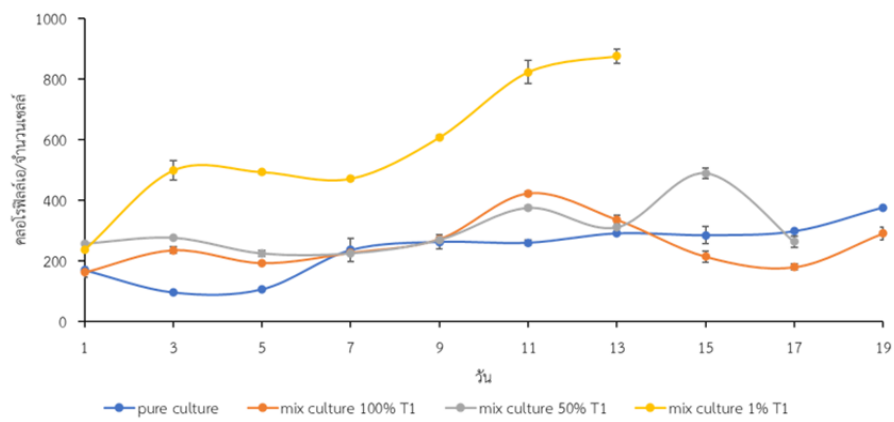
รูปที่ 28 การเปรียบเทียบคลอโรฟิลล์เอรวม (Total) และผลรวมของคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด (C+) ในสารอาหาร T1 ที่ความเข้มข้นต่างๆ (100% 50% และ 1%)



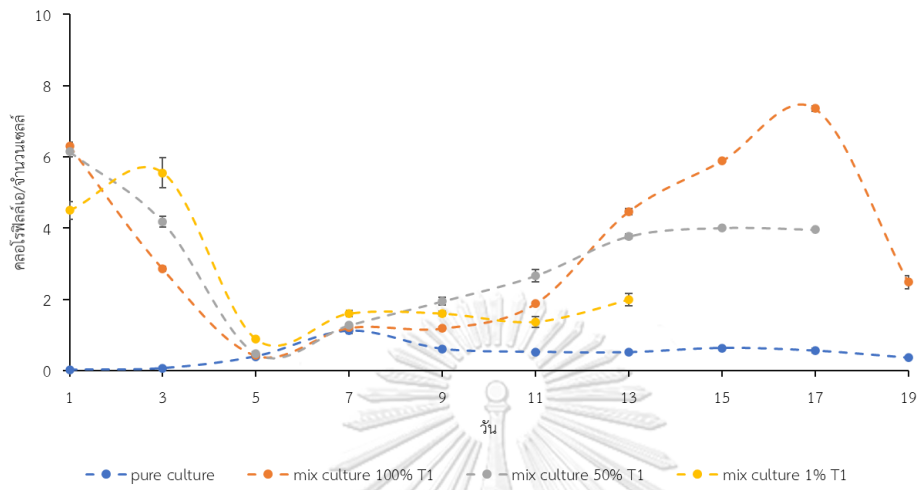
รูปที่ 29 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขึ้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



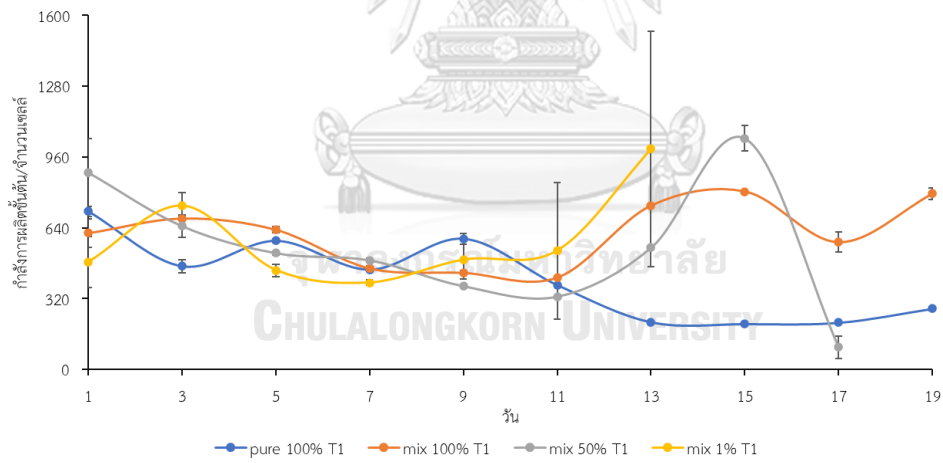
รูปที่ 30 ประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis sp.*



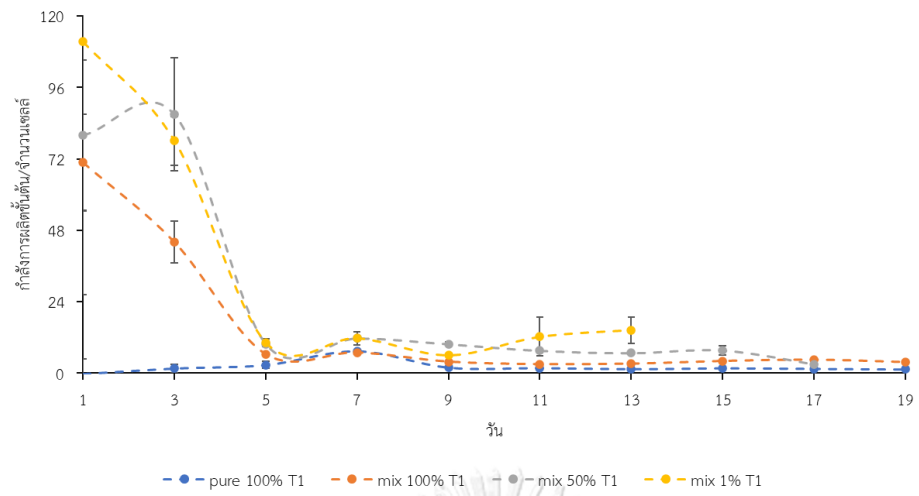
รูปที่ 31 คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella sp.*



รูปที่ 32 คลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.



รูปที่ 33 กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp.



รูปที่ 34 กำลังการผลิตขั้นต้นต่อเซลล์แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp.



## บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา

### 5.1 การศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้น บริเวณปากแม่น้ำ

ผลการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้น ด้วยวิธีคาร์บอน-13 ในช่วงต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงต้นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง พบว่า กำล้างการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำมีความสัมพันธ์ กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ความลึก ความเค็ม อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน คลอโรฟิลล์เอ ซิลิเกต แอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรท (ตาราง ก ในภาคผนวก) กำล้างการผลิตขั้นต้นเฉลี่ย 3 สถานี สูงที่สุดบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และกำล้างการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ย 3 สถานี สูงที่สุด บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน โดยกำล้างการผลิตขั้นต้นจะแปรผันตรง กับปริมาณสารอาหาร โดยพบปริมาณค่าเฉลี่ยของซิลิเกต แอมโมเนีย ไนเตรท ไนโตรท สูงบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง และปากแม่น้ำเจ้าพระยา แต่กลับพบว่า บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณค่าเฉลี่ยของสารอาหารน้อยมาก จึงส่งผลให้กำล้างการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงน้อยลงไปด้วย

เมื่อพิจารณากำล้างการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยบริเวณปากแม่น้ำทั้ง 4 ปาก ตามช่วงเวลา พบว่า ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2562; 3.63 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยสูงกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2562; 1.16 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสันติ บุญขวัญ (2556) ทำการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ย บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำท่าจีน และปากแม่น้ำบางปะกง พบว่า ในฤดูแล้ง (มีนาคม พ.ศ. 2552; 19.33 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยสูงกว่าฤดูแล้ง (พฤศจิกายน พ.ศ. 2552; 6.81 ไมโครกรัมต่อลิตร) และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของกำล้างการผลิตขั้นต้นกับปริมาณสารอาหาร พบว่า กำล้างการผลิตขั้นต้นแปรผันตรงกับปริมาณสารอาหาร ยกตัวอย่าง บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งห่างจากฝั่ง 5 10 และ 15 กิโลเมตร มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นเป็น 7.36 11.37 และ 3.87 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และปริมาณสารอาหารของทั้ง 3 สถานี มีไนโตรเจนรวม 113.12 113.76 และ 59.26 ไมโครโมลล์ และฟอสฟอรัสรวม 6.41 6.89 และ 4.13 ไมโครโมลล์ ตามลำดับ และบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้นเป็น 0.02 1.15 และ 1.07 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และปริมาณสารอาหารของทั้ง 3 สถานี มีไนโตรเจนรวม 46.82 50.37 และ 44.33 ไมโครโมลล์ และฟอสฟอรัสรวม 4.04 4.11 และ 3.97 ไมโครโมลล์ ตามลำดับ ส่วนบริเวณปากแม่น้ำอีก 2 ปาก ไม่พบความสัมพันธ์ของกำล้างการผลิตขั้นต้น กับปริมาณไนโตรเจนรวม และปริมาณฟอสฟอรัสรวม โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของอิซมิกา พรหมทอง (2542) ซึ่งศึกษาผลผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2541 มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้น 38.14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณไนโตรเจนรวม 5.65 ไมโครโมลาร์ และในเดือนมกราคม พ.ศ. 2541 มีค่ากำล้างการผลิตขั้นต้น 7.85 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีปริมาณไนโตรเจนรวม 1.58 ไมโครโมลาร์ แสดงให้เห็นว่า แม้จะมีวิธีการศึกษากำล้างการผลิตขั้นต้น ที่แตกต่างกัน แต่ก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ กำล้างการผลิตขั้นต้นแปรผันตรงกับปริมาณสารอาหาร

เมื่อพิจารณากำลัการผลิตขั้นต้น และประสิทธิภาพกำลัการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ ในเชิงสถานี (รูปที่ 4 และรูปที่ 6) และในเชิงพื้นที่ (รูปที่ 5 และรูปที่ 7) พบว่า ในฤดูต้นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลัการผลิตขั้นต้นสูงกว่าในฤดูต้นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4 และรูปที่ 6) แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพกำลัการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ (รูปที่ 5 และรูปที่ 7) พบว่า มีค่าตรงกันข้าม คือ ในฤดูต้นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงกว่าในฤดูต้นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นว่า ในฤดูต้นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีปริมาณสารอาหารน้อยกว่า แพลงก์ตอนพืชมีการปรับตัวให้คลอโรฟิลล์เอแต่ละหน่วยมีประสิทธิภาพกำลัการผลิตขั้นต้นที่สูงขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ คลอโรฟิลล์เอแต่ละหน่วยสามารถผลิตคาร์บอนได้มากขึ้น (turnover time) โดยกำลัการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำจะเป็นไมโครแพลงก์ตอนพืชเป็นหลัก (Holm-Hansen et al., 1989) จากงานวิจัยของ ปรียานุช เจริญสุข (2561) ซึ่งศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งห่างจากฝั่งประมาณ 20 กิโลเมตร พบว่า ไมโครแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตหลักถึง 96.1% และจากงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ (เจริญลักษณ์ 2564) พบว่า ประสิทธิภาพกำลัการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอของไมโครแพลงก์ตอนพืชมีค่าอยู่ในช่วง 0.41-5.44 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อมิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง

## 5.2 การศึกษากำลัการผลิตขั้นต้น บริเวณอ่าวไทยตอนใน

จากผลการศึกษากำลัการผลิตขั้นต้น ด้วยวิธีคาร์บอน-13 บริเวณอ่าวไทย ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม และฤดูร้อน พบว่า กำลัการผลิตขั้นต้นบริเวณปากแม่น้ำมีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ความลึก ความเค็ม ปริมาณออกซิเจน คลอโรฟิลล์เอ ซิลิเกต ไนโตรเจน และไนเตรท (ตาราง ข ในภาคผนวก) กำลัการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยในเชิงพื้นที่ สูงที่สุดบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงบริเวณชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าประสิทธิภาพกำลัการผลิตขั้นต้นต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยสูงสุดบริเวณปากแม่น้ำ และลดลงบริเวณชายฝั่งตะวันตก และกลางอ่าว ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันทั้ง 2 ฤดูกาล โดยกำลัการผลิตขั้นต้นจะแปรผันตรงกับปริมาณสารอาหาร ซึ่งพบปริมาณค่าเฉลี่ยของซิลิเกต แอมโมเนีย ไนเตรท ไนโตรเจน สูงบริเวณปากแม่น้ำ ส่วนบริเวณชายฝั่งตะวันตกและบริเวณกลางอ่าวมีปริมาณค่าเฉลี่ยของสารอาหารน้อยกว่าบริเวณปากแม่น้ำ จึงส่งผลให้กำลัการผลิตขั้นต้นน้อยลงไปด้วย

เมื่อพิจารณากำลัการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยบริเวณอ่าวไทย ตามช่วงเวลา พบว่า ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (9-12 ตุลาคม พ.ศ. 2562; 2.48 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) มีค่ากำลัการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยน้อยกว่าฤดูร้อน (8-12 มีนาคม พ.ศ. 2563; 3.87 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และเมื่อพิจารณาเชิงพื้นที่ กำลัการผลิตขั้นต้นเฉลี่ยสูงบริเวณปากแม่น้ำ (4.74 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และมีค่าลดลงที่บริเวณชายฝั่งตะวันตก (0.53 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) และบริเวณกลางอ่าว (0.34 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสันติ บุญขวัญ (2556) ที่ทำการศึกษา กำลัการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พบว่า กำลัการผลิตขั้นต้นของอ่าวไทยตอนในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ (29.43 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน) มีค่าสูงกว่าอ่าวไทยตอนในบริเวณกลางอ่าว (3.36 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในเชิงวิธีการศึกษากำลัการผลิตขั้นต้นในประเทศ

ไทย พบว่า งานวิจัยของปรียานุช เจริญสุข (2561) ได้ทำการศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนใน ด้วยวิธีคาร์บอน-13 กำลังการผลิตขั้นต้นในเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 อยู่ในช่วง 0.08-19.51 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเทียบได้กับกำลังการผลิตขั้นต้นของงานวิจัยนี้ ในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (8-12 มีนาคม พ.ศ. 2563; 0.15-10.09 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) โดยพบว่า ให้ค่ากำลังการผลิตขั้นต้นที่ใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อม และการแพร่กระจายของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อพิจารณากำลังการผลิตขั้นต้น และประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ ในเชิงสถานี (รูปที่ 12 และรูปที่ 13) และในเชิงพื้นที่ (รูปที่ 14 และรูปที่ 15) ในฤดูเปลี่ยนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อน พบว่า ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับบริเวณปากแม่น้ำ (เชิงสถานี รูปที่ 12 และรูปที่ 13; เชิงพื้นที่ รูปที่ 14 และรูปที่ 15) ที่ค่ากำลังการผลิตขั้นต้น และประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ มีค่าตรงกันข้ามกันชัดเจน ทั้งนี้ คาดว่าอาจเกิดจาก (1) ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช ทั้งชนิดและขนาดเซลล์ ที่ต่างกันในแต่ละบริเวณ โดยบริเวณใกล้ฝั่งที่สารอาหารลดลงจะเป็นแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มนาโนแพลงก์ตอน และพืโคแพลงก์ตอน (Chisholm และคณะ 1988) และ (2) ปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ

การหาปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น ด้วยวิธีคาร์บอน 13 มีการใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ได้แก่ งานวิจัยของ Kuninao Tada et al. (1998) ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นในทะเล Seto Inland ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นอ่าวกึ่งปิดคล้ายกับอ่าวไทยตอนใน มีค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในช่วง 0.41-32.1 ไมโครกรัมคาร์บอนต่อลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งงานวิจัยที่ยกตัวอย่างดังกล่าว ให้ค่ากำลังการผลิตขั้นต้นที่แตกต่างกับอ่าวไทยตอนใน (0.15-10.09 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ของงานวิจัยนี้ อาจเนื่องมาจากความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช ทั้งชนิดและขนาดเซลล์ ที่ต่างกันในแต่ละบริเวณ นอกจากนี้ยังพบว่า ยังมีการศึกษาในบริเวณอื่นๆ ที่มีลักษณะแตกต่างจากบริเวณอ่าวไทย ได้แก่ งานวิจัยของ K. Tada et al. (2001) ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นบริเวณ Dokai Bay ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นบริเวณน้ำตื้น ที่มีปริมาณสารอาหารสูงตลอดทั้งปี คล้ายกับบริเวณอ่าวไทยตอนใน มีค่ากำลังการผลิตขั้นต้นในช่วง 0.27-219.0 ไมโครกรัมคาร์บอนต่อลิตรต่อชั่วโมง และงานวิจัยของ Yun et al. (2015) ทำการศึกษาระบบนิเวศมหาสมุทรอาร์กติก ฝั่งตะวันตก ในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2553 มีค่ากำลังการผลิตขั้นต้นอยู่ในช่วง 0.02-0.03 กรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถึงแม้ว่าจะหาค่ากำลังการผลิตขั้นต้น ด้วยวิธีคาร์บอน-13 เหมือนกัน แต่ให้ค่ากำลังการผลิตขั้นต้นที่แตกต่างกัน เนื่องจาก ความแตกต่างของพื้นที่ ปัจจัยจำกัดจากปริมาณแสง ความเข้มข้นของสารอาหาร และการแพร่กระจายของกลุ่มแพลงก์ต่างขนาดในแต่ละฤดูกาล

### 5.3 การศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ในห้องปฏิบัติการ

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ด้วยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ทำการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด คือ *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. ในอาหารเหลวสูตร T1 ความเข้มข้น 100% ที่ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น 500 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ความเค็ม 28 พีพีที เป็นเวลา 20 วัน ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว และเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดในสภาวะเลี้ยงรวม ในอาหารเหลวสูตร T1 ที่ความ

เข้มข้น 100% 50% และ 1% โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 วัน พบว่า ความหนาแน่นเซลล์ กำลังการผลิตขั้นของ แพลงก์ตอนพืช และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จะแปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร โดยได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทางสถิติระหว่างแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิดกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ พบว่า ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นเซลล์ คลอโรฟิลล์เอ DIN DIP และคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. (ตาราง จ ในภาคผนวก) ในสภาวะเลี้ยงรวม แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและคลอโรฟิลล์เอ เช่นเดียวกับแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. (ตาราง ฉ ในภาคผนวก) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารกับขนาดเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาปริมาณสารอาหารเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มต้นการทดลอง ผู้วิจัยจึงนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารอาหารต่อขนาดเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช พบว่า แพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด คือ *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. จะมีขนาดเซลล์ใหญ่ขึ้นเมื่อปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้น (ตาราง ช ในภาคผนวก)

ในสภาวะเลี้ยงรวม ในกรณีของแพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ที่ความเข้มข้น 100% T1 มีปริมาณ DIP 49.85 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 484.74 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 500.32 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 11 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้น 50% T1 มีปริมาณ DIP 24.79 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 283.22 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 298.40 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 11 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้น 1% T1 มีปริมาณ DIP 0.47 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 69.52 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 53.91 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 3 ของการทดลอง จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นสารอาหารลดลง 2 เท่า (50%) กำลังการผลิตขั้นต้นก็จะลดลง 1.68 เท่า และเมื่อความเข้มข้นสารอาหารลดลง 100 เท่า (1%) กำลังการผลิตขั้นต้นก็จะลดลง 9.28 เท่าตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของสารอาหารลดลงก็จะส่งผลให้กำลังการผลิตขั้นต้นลดลงตามไปด้วย และในกรณีของแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ที่ความเข้มข้น 100% T1 มีปริมาณ DIP 49.85 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 484.74 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 491.23 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 17 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้น 50% T1 มีปริมาณ DIP 24.79 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 283.22 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 221.19 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 15 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้น 1% T1 มีปริมาณ DIP 0.47 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ DIN 69.52 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้กำลังการผลิตขั้นต้นสูงสุด 115.68 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 7 ของการทดลอง จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นสารอาหารลดลง 2 เท่า (50%) กำลังการผลิตขั้นต้นจะลดลง 2.22 เท่า และเมื่อความเข้มข้นสารอาหารลดลง 100 เท่า (1%) กำลังการผลิตขั้นต้นจะลดลง 4.25 เท่าตามไปด้วย เมื่อเทียบกับสารอาหาร 100% T1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของสารอาหารลดลงก็จะส่งผลให้กำลังการผลิตขั้นต้นลดลง เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 9



ตารางที่ 9 แสดงปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ของแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด ในสภาวะเลี้ยงรวม

แพลงก์ตอนพืช	ความเข้มข้นของสารอาหารสูตร T1								
	100%			50%			1%		
	DIP	DIN	PP	DIP	DIN	PP	DIP	DIN	PP
<i>Chattonella</i> sp.	49.85	484.74	500.32	24.79	283.22	298.40	0.47	69.52	53.91
<i>Isochrysis</i> sp.	49.85	484.74	491.23	24.79	283.22	221.19	0.47	69.52	115.68

หมายเหตุ DIP คือ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส DIN คือ อนินทรีย์ไนโตรเจน และ PP คือ กำลังการผลิตขั้นต้น

ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก ให้ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอ สูงที่สุดในวันที่ 3 ของการทดลอง และในสภาวะเลี้ยงรวม ให้ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอสูงในช่วง 5 วันแรกของการทดลอง (รูปที่ 31) นอกจากนี้ยังให้ค่าประสิทธิภาพคลอโรฟิลล์เอต่อเซลล์สูงในช่วง 3 วันแรกของการทดลอง ในสภาวะเลี้ยงรวม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในสภาวะเลี้ยงเดี่ยวมาก อาจกล่าวได้ว่า ในสภาวะเลี้ยงรวม ซึ่งมีการแข่งขันกันระหว่างแพลงก์ตอนพืช 2 ชนิด แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. มีการปรับตัวในช่วงแรก โดยให้ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอสูง ในช่วงระยะเวลาที่ยาวขึ้นแล้ว ยังให้ค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอที่สูงด้วย โดยค่าประสิทธิภาพกำลังการผลิตขั้นต้นต่อคลอโรฟิลล์เอค่อนข้างคงที่ ไม่แปรผันตามปริมาณสารอาหาร เมื่อเทียบกับสภาวะเลี้ยงเดี่ยว (รูปที่ 35)

ในสภาวะเลี้ยงรวมแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กสามารถปรับตัวได้ดีแม้ในสภาพความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำมาก (T1%) แต่แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ซึ่งเป็นพืชขนาดใหญ่สามารถดำรงชีวิตได้ดีในสภาพความเข้มข้นของสารอาหารสูง (T100% และ T50%) แต่ต้องปรับตัวค่อนข้างมากเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ (T1%) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปริยานุช เจริญสุข (2561) ได้ทำการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของกลุ่มแพลงก์ตอนต่างขนาดบริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยทำการศึกษาบริเวณปากแม่น้ำ บริเวณชายฝั่งตะวันตก และบริเวณปากอ่าว พบว่า ปริมาณสารอาหารสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำ และลดลงตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า พิโคแพลงก์ตอนเป็นผู้ผลิตหลัก ในบริเวณ ปากอ่าว เนื่องจากปริมาณ DIP ของอาหารเหลวสูตร T1 ที่ความเข้มข้น 1% เทียบได้กับปริมาณ DIP บริเวณอ่าวไทยตอนใน ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ซึ่งมีระยะห่างจากฝั่งประมาณ 30 กิโลเมตร ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะเลี้ยงรวมที่ความเข้มข้นต่ำ (T1%) ที่แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp

## บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง

ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (30 พฤษภาคม-14 มิถุนายน พ.ศ. 2562) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (25 ตุลาคม-19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-11.37 และ 0.02-3.07 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (9-12 ตุลาคม พ.ศ. 2562) และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (8-12 มีนาคม พ.ศ.2563) มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-5.15 และ 0.30-10.09 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืชบริเวณปากแม่น้ำ ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 178-565,319 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่นได้แก่ *Asteromphalus* sp. *Chaetoceros* sp. *Coscinodiscus* sp. *Dinophysis* sp. และ *Nitzschia* sp. และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 56-15,785 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่นได้แก่ *Chaetoceros* sp. *Coscinodiscus* sp. *Pleurosigma* sp. *Protoperdinium* sp. และ *Skeletonema* sp. และบริเวณอ่าวไทยตอนใน ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พบว่า ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 20-26,053 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่นได้แก่ *Bacteriastrum* sp. *Coscinodiscus* sp. *Dinophysis* sp. *Nitzschia* sp. และ *Skeletonema* sp. ในฤดูร้อน ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 36-54,326 เซลล์ต่อลิตร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่นได้แก่ *Ceratium* sp. *Dinophysis* sp. *Pleurosigma* sp. *Rhizosolenia* sp. และ *Thalassionema* sp. ทั้งนี้พบว่ากำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช แปรผันตรงกับปริมาณความเข้มข้นของสารอาหาร โดยบริเวณปากแม่น้ำสถานที่ที่อยู่ใกล้ฝั่งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากฝั่ง เนื่องจากบริเวณใกล้ฝั่งได้รับปริมาณธาตุอาหารจากฝั่งซึ่งเป็นแหล่งอุตสาหกรรม มากกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไป เช่นเดียวกับบริเวณอ่าวไทยตอนใน ผลการวิเคราะห์แพลงก์ตอนพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช มีแนวโน้มเดียวกัน โดยบริเวณอ่าวไทยตอนในสถานที่ที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำ จะมีปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงกว่าบริเวณกลางอ่าว กล่าวคือ ทั้งบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนในจะพบค่าเฉลี่ยของกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชสูงที่สุดที่บริเวณใกล้ฝั่ง และลดลงเมื่อห่างจากฝั่งออกไป

ผลการศึกษากำลังการผลิตขั้นต้นของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด โดยวิธีวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ทำการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชทั้งสองชนิด คือ *Chattonella* sp. และ *Isochrysis* sp. ในห้องปฏิบัติการ ปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชอยู่ในช่วง 46.64-451.87 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นเซลล์ กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืช และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จะแปรผันตามความเข้มข้นของสารอาหาร โดยแพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. ซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กสามารถปรับตัวได้อยู่ได้แม้ในสภาพความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่ำมาก (1%) แต่แพลงก์ตอนพืช *Chattonella* sp. ซึ่งเป็นแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีในบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูง กล่าวคือ แพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กสามารถปรับตัวได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารลดลง

ในการวิจัยครั้งต่อไป การหาค่ากำลังการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีคาร์บอน 13 ควรเพิ่มการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชทั้ง ไมโครแพลงก์ตอน นาโนแพลงก์ตอน และพีโคแพลงก์ตอน เพื่อให้เห็นแนวโน้มของปริมาณกำลังการผลิตขั้นต้นของ แพลงก์ตอนแต่ละขนาด และการหาค่ากำลังการผลิตขั้นต้นด้วยวิธีออกซิเจนละลาย ควรเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช ชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น ไดอะตอม เนื่องจากเป็นสปีชีส์เด่นที่พบบริเวณชายฝั่ง และเพิ่มระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ให้นานขึ้นจาก 20 วัน เพิ่มเป็น 30 วัน เพื่อจะได้เห็นประสิทธิภาพการปรับตัวของทั้งแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็ก แพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่



## บรรณานุกรม

- Bender, M., Grande, K., Johnson, K., Marra, J., Williams, P. J. L., Sieburth, J., Pilson, M., Langdon, C., Hitchcock, G., Orchardo, J., Hunt, C., Donaghay, P., and Heinemann, K. (1987). A comparison of four methods for determining planktonic community production<sup>1</sup>. *Limnology and Oceanography*, 32(5), 1085-1098.  
doi:<https://doi.org/10.4319/lo.1987.32.5.1085>
- Falkowski, P. G., and Raven, J. A. (2007). *Aquatic photosynthesis*: Princeton University Press.
- Hama, T., Miyazaki, T., Ogawa, Y., Iwakuma, T., Takahashi, M., Otsuki, A., and Ichimura, S. (1983). Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable <sup>13</sup>C isotope. *Marine Biology*, 73(1), 31-36.  
doi:10.1007/BF00396282
- Nishibe, Y., Takahashi, K., Shiozaki, T., Kakehi, S., Saito, H., and Furuya, K. (2015). Size-fractionated primary production in the Kuroshio Extension and adjacent regions in spring. *Journal of Oceanography*, 71(1), 27-40. doi:10.1007/s10872-014-0258-0
- Parsons, T. R., Maita, Y., and Lalli, C. M. (1984). *A manual of Chemical & Biological Method for Seawater Analysis*: Amsterdam: Pergamon.
- Strickland, J. D., and Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*.
- Tada, K., Monaka, K., Morishita, M., and Hashimoto, T. (1998). Standing stocks and production rates of phytoplankton and abundance of bacteria in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Oceanography*, 54, 285-295. doi:10.1007/BF02742613
- Tada, K., Morishita, M., Hamada, K., Montani, S., and Yamada, M. (2001). Standing stock and production rate of phytoplankton and a red tide outbreak in a heavily eutrophic embayment, Dokai Bay, Japan. *Marine pollution bulletin*, 42(11), 1177-1186. doi:10.1016/s0025-326x(01)00136-9
- Yun, M., Kim, B., Joo, H., Yang, E.-J., Nishino, S., Chung, K., Kang, S.-H., and Lee, S. (2015). Regional productivity of phytoplankton in the Western Arctic Ocean during summer in 2010. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 120. doi:10.1016/j.dsr2.2014.11.023

ปรียานุช เจริญสุข. (2561). กำลังการผลิตชิ้นต้นของกลุ่มเพลงก่ตอนพีซต่างขนาดบริเวณอ่าวไทยตอนใน.

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2530). เพลงก่ตอน. กรุงเทพมหานคร: คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). เพลงก่ตอนพีซ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันติ บุญขวัญ. (2556). การผันแปรตามฤดูกาลของเพลงก่ตอนพีซและผลผลิตชิ้นต้นในอ่าวไทยตอนใน. วิทยาศาสตร์  
มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.



ภาคผนวก

ตาราง ก สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation ระหว่างกำลังการผลิตขั้นต้นกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ บริเวณปากแม่น้ำ

ปัจจัยแวดล้อม	กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์	กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่อ
	ตอนพีช	คลอโรฟิลล์เอ
ความลึก	-0.542	-0.270
ความเค็ม	-0.901	-0.987
อุณหภูมิ	-0.602	-0.813
พีเอช	-0.048	0.252
ปริมาณออกซิเจน	-0.852	0.657
คลอโรฟิลล์เอ	-0.890	0.713
ปริมาณซิลิเกต	0.924	0.996
ปริมาณ	0.803	0.588
แอมโมเนีย		
ปริมาณไนโตรเจน	0.978	-0.996
ปริมาณไนเตรต	-0.997	-0.927

หมายเหตุ R>0.5 มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง ข สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation ระหว่างกำลังการผลิตขั้นต้นกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ บริเวณอ่าวไทยตอนใน

ปัจจัยแวดล้อม	กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์	กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่อ
	ตอนพีช	คลอโรฟิลล์เอ
ความลึก	-0.996	-0.965
ความเค็ม	-0.816	-0.704
อุณหภูมิ	0.144	-0.030
พีเอช	0.439	0.277
ปริมาณออกซิเจน	0.875	0.948
คลอโรฟิลล์เอ	0.964	0.904
ปริมาณซิลิเกต	0.927	0.848
ปริมาณแอมโมเนีย	0.473	0.313
ปริมาณไนโตรเจน	0.998	0.995
ปริมาณไนเตรต	0.945	0.988

หมายเหตุ R>0.5 มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง ค สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Kruskal-wallis) ระหว่างขนาดเซลล์แพลงก์ตอนพืช

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	ค่าสหสัมพันธ์
<i>Chattonella</i> sp. (ความกว้าง)	.002
<i>Chattonella</i> sp. (ความยาว)	.000
<i>Isochrysis</i> sp.	.139

P < 0.05 มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง ง อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารอาหารต่อขนาดเซลล์

สารอาหาร	<i>Chattonella</i> sp.						<i>Isochrysis</i> sp.		
	100%		50%		1%		100%	50%	1%
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว			
DIP	2.173	1.745	1.174	0.391	0.023	0.019	11.876	6.113	0.118
DIN	21.131	16.969	13.416	10.635	3.389	2.765	115.481	69.837	17.447

ตาราง จ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation ระหว่างกำลังการผลิตขั้นต้นกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ในสภาวะเลี้ยงเดี่ยว

ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ	<i>Chattonella</i> sp.	<i>Isochrysis</i> sp.
ความหนาแน่นเซลล์	0.784	0.893
คลอโรฟิลล์เอ	0.545	0.950
DIP	0.044	-0.715
DIN	-0.098	-0.0680
คาร์โบไฮเดรต	0.908	0.863

R > 0.5

ตาราง ฉ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation ระหว่างกำลังการผลิตขั้นต้นกับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ในสถานะเลี้ยงรวม

ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ	<i>Chattonella</i> sp.			<i>Isochrysis</i> sp.		
	100%	50%	1%	100%	50%	1%
ความหนาแน่นของเซลล์	0.918	0.953	0.892	0.954	0.791	0.858
คลอโรฟิลล์เอ	0.864	0.904	0.807	0.931	0.660	0.860

R > 0.5

ตาราง ช อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารอาหารต่อกำลังการผลิตขั้นต้น ในสถานะเลี้ยงรวม

ปริมาณสารอาหาร	<i>Chattonella</i> sp.			<i>Isochrysis</i> sp.		
	100%	50%	1%	100%	50%	1%
DIP	0.100	0.083	0.017	0.101	0.112	0.004
DIN	0.969	0.949	2.472	0.987	1.280	0.601



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวเจริญลักษณ์ สุขชาติพงษ์
วัน เดือน ปี เกิด	12 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	34/237 หมู่ที่ 4 ต.เทพารักษ์ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
ผลงานตีพิมพ์	“กำลังการผลิตขั้นต้นของแพลงก์ตอนพืชต่างขนาด ใน ห้องปฏิบัติการ”



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY