



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ

Correlation of Algal Proliferation Water Quality in Bang Phra Reservoir

นามผู้วิจัย นางสาวสุจิตรา สุวรรณ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา, M.Appl.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรพร ฤกษ์หรั่ง, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เขียมไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ

Correlation of Algal Proliferation and Water Quality in Bang Phra Reservoir

โดย

นางสาวสุจิตรา สุวรรณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุจิตรา สุวรรณ 2557: ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ กัษราภรณ์ สุวรรณวิทยา, M.Appl.Sc. 188 หน้า

อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาเพื่อการบริโภค ใช้ประโยชน์ในชุมชนและอุตสาหกรรม ตั้งอยู่ในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ช่วงหลายปีที่ผ่านมาเกิดการแพร่กระจายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้ำและคุณภาพน้ำของระบบประปา งานวิจัยนี้จึงศึกษาจำนวนประชากรและความหลากหลายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระแต่ละฤดูกาล รวมถึงประเมินคุณภาพน้ำและผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายและปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ การศึกษานี้ได้ดำเนินการในช่วงเดือนเมษายน 2556 ถึงมีนาคม 2557 โดยทำการเก็บตัวอย่างเดือนละครั้ง กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ กระจายทั่วบริเวณอ่างเก็บน้ำ 8 จุด การประเมินประชากรสาหร่ายจากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพื่อใช้ในการบ่งบอกความหนาแน่นประชากรของสาหร่าย การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายใช้การระบุทางสัณฐานวิทยาและทางอณูชีววิทยา (PCR-DGGE) พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในอ่างเก็บน้ำบางพระอยู่ในช่วง 7.46 ถึง 82.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเฉลี่ยมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นเกณฑ์บ่งชี้ถึงการเกิดยูโทรฟิเคชัน ประชากรสาหร่ายมีการแปรผันตามฤดูกาล โดยมีปริมาณสูงในช่วงฤดูฝนถึงฤดูหนาว (กรกฎาคม 2556 ถึง มกราคม 2557) โดยมีปริมาณสูงสุดในเดือนสิงหาคม และมีปริมาณต่ำในช่วงฤดูร้อน (เมษายน 2556 ถึง มิถุนายน 2556)

การศึกษาความหลากหลายด้วยสัณฐานวิทยาในอ่างเก็บน้ำบางพระ พบสาหร่าย 7 หมวด 54 สายพันธุ์ ในอ่างเก็บน้ำบางพระ โดยพบหมวด Chlorophyta 26 สายพันธุ์ ซึ่งมีความหลากหลายมากที่สุด การศึกษาความหลากหลายทางอณูชีววิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญในช่วงที่มีการแพร่กระจายของสาหร่าย พบสาหร่ายที่เป็นสายพันธุ์หลักมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มีความเหมือนกับ *Synechococcus* sp. ในระดับ 98 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าการเปลี่ยนแปลง ออร์โธฟอสเฟต (0.007-0.085 mgP/L) แอมโมเนีย (0.03-0.21 mgN/L) และไนเตรท (0.2-0.6 mgN/L) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ) ทั้งนี้สารอาหารเหล่านี้มีปริมาณสูงเกินความต้องการของสาหร่ายในการเจริญเติบโต ความแปรผันของคลอโรฟิลล์ เอ มีความสอดคล้องกับการแปรผันของออร์โธฟอสเฟตมากที่สุด เมื่อพิจารณาอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) จะเห็นได้ว่าในอ่างเก็บน้ำบางพระ ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยที่กำหนดการเจริญเติบโตของสาหร่าย

Sujittra Suwan 2014: Correlation of Algal Proliferation and Water Quality in Bang Phra Reservoir.
Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering,
Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor
Patcharaporn Suwanvitaya, M.Appl.Sc. 188 pages.

Bang Phra Reservoir (BPR) is a source of water supply for domestic and industrial use in Sri Racha District, Chonburi Province, Thailand. In recent years there have been a number of severe algal blooms in the reservoir. The bloom will affect the production process and the quality of the water supply. This research aimed to determine the seasonal and spatial changes in the population of the various algal groups which was found in BPR. This involved water quality analyses, in particular, the parameters vital to the growth of algae. This study was conducted during April 2013 to March 2014. Samples were collected, once a month during study period, from eight points in the reservoir. Algal population density was determined by chlorophyll-a content, algae identified by morphological and molecular (PCR-DGGE) methods. It was found that chlorophyll a content in BPR varied in the broad range of 7.46 to 82.09 $\mu\text{g/L}$ with an average value over the eutrophication threshold of 10 $\mu\text{g/L}$. Algal population was high in rainy season to cold months (from July 2013 to January 2014 with peak in August), and low in summer (April to June 2013).

By morphological identification, 54 genus in 7 divisions of algae were found in BPR. Chlorophyta was the division with the highest degree of diversity with 26 genus found. Molecular identification of Cyanophyta in proliferation period was carried out. The results obtained from nucleotide sequencing of PCR-DGGE products showed 98% similarity to *Synechococcus* sp. Water quality analysis showed that nutrient contents varied with seasonal change. Orthophosphate (0.007-0.085 mgP/L), ammonia (0.03-0.21 mgN/L) and nitrate (0.2-0.6 mgN/L) contents were conformed to Thailand Pollution Control Department standard for surface water. However, the contents were in the range higher than those required for algal growth. Variation of chlorophyll a content followed the same trend as those of orthophosphate. Considering N:P ratio, phosphorus was found to be the limiting factor algal growth for algal growth in BPR.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผศ.ดร.พัชรภาพร ฤกษ์ห่อราย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ คอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และตรวจข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนการให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ได้

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ณัฐฐา เสนีवास อาจารย์ประจำภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้เพิ่มเติมและช่วยเหลือเรื่องการจัดแผนกชนิดสาขาโดยวิธีทางสัณฐานวิทยา ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวัลย์ลักษณ์ ดวงประสพสุข นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมทั้งขอขอบพระคุณคุณกาญจนา ทูยเวียง และคุณปิยะกาญจน์ บุญสุวรรณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 1 และ 2 ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุจิตรา สุวรรณ

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	45
อุปกรณ์	45
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	57
สรุปและข้อเสนอแนะ	129
สรุป	129
ข้อเสนอแนะ	132
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	133
ภาคผนวก	143
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูล	144
ภาคผนวก ข การเตรียมอุปกรณ์และขั้นตอนวิเคราะห์	172
ภาคผนวก ค ข้อมูลการคำนวณ	182
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	188

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจัดหมวดหมู่ของเพลงก่ต่อนพีชโดยนักพฤกษศาสตร์ในช่วงปี 1950 ถึง 1985	10
2	รงควัตถุชนิดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงกับสิ่งมีชีวิตที่มีรงควัตถุชนิดนั้น ๆ	11
3	ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำบางพระปี พ.ศ. 2555	42
4	แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 8 จุด	49
5	การเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง	50
6	วิธีวิเคราะห์หรือมาตรฐานอ้างอิงของแต่ละพารามิเตอร์	51
7	ไพรเมอร์ที่ใช้ในการทำ PCR จากไซยาโนแบคทีเรีย	52
8	เงื่อนไขในการเพิ่มปริมาณ DNA	53
9	อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	79
10	แสดงการจัดจำแนกสกุลของสาหร่ายที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระ	81
11	แสดงผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์และผลการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของสาหร่าย	114
12	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต	116
13	ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต	116
14	อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์ เอ และออร์โธฟอสเฟต	116
15	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย	119
16	ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย	120
17	อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์ เอ และแอมโมเนีย	120
18	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท	112
19	ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท	123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก	125
21	ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก	126
22	อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพัทธ์คลอโรฟิลล์ เอ และเหล็ก	127
ตารางผนวกที่		
ก1	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนเมษายน 2556	145
ก2	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนพฤษภาคม 2556	146
ก3	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมิถุนายน 2556	147
ก4	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกรกฎาคม 2556	148
ก5	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนสิงหาคม 2556	149
ก6	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกันยายน 2556	150
ก7	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนตุลาคม 2556	151
ก8	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนพฤศจิกายน 2556	152
ก9	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนธันวาคม 2556	153
ก10	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมกราคม 2557	154
ก11	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกุมภาพันธ์ 2557	155
ก12	คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมีนาคม 2557	156
ก13	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนเมษายน 2556	157
ก14	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนพฤษภาคม 2556	158
ก15	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมิถุนายน 2556	159
ก16	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกรกฎาคม 2556	160
ก17	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนสิงหาคม 2556	161
ก18	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกันยายน 2556	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก19 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนตุลาคม 2556	163
ก20 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนพฤศจิกายน 2556	164
ก21 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนธันวาคม 2556	165
ก22 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมกราคม 2557	166
ก23 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2557	167
ก24 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมีนาคม 2557	168
ก25 ข้อมูลแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยรายเดือน	169
ข1 เปร้เซ็นต์ความเข้มข้นของ Polyacrylamide gel	177
ข2 ส่วนผสมในการเตรียม 0% denaturant	177
ข3 ส่วนผสมในการเตรียม 100% denaturant	178
ข4 ส่วนผสมในการเตรียม denaturing gradient ของ 6% Polyacrylamide gel	178

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	15
2	16
3	17
4	18
5	31
6	34
7	35
8	43
9	44
10	48
11	56
12	58
13	66
14	67
15	68
16	69
17	70
18	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	72
20 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 8 จุดในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	73
21 ปริมาณแอมโมเนียในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	74
22 ปริมาณไนเตรทในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	75
23 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	76
24 ปริมาณเหล็กกรรมในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557	77
25 สัตว์ส่วน (ร้อยละ) จำนวนสกุล (genus) ของสาหร่ายแต่ละหมวดที่พบ ในอ่างเก็บน้ำบางพระ ระหว่างเดือนเมษายน 2556 ถึง เดือนมีนาคม 2557	80
26 หมวด Cyanophyta	84
27 หมวด Chlorophyta	90
28 หมวด Euglenophyta	98
29 หมวด Chrysophyta	101
30 หมวด Bacillariophyta	103
31 หมวด Pyrrhophyta	106
32 หมวด Cryptophyta	108
33 ผลการวิเคราะห์จำนวนเบสของประชากรสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ ที่จุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ (P1-P8) เทียบกับ DNA มาตรฐาน (marker) (Electrophoresis ที่ใช้ 1% agarose gel)	111
34 แถบ DNA ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระ เดือนสิงหาคม 2556 ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี DGGE ที่ใช้ 6% acrylamide gel ที่ความเข้มข้น 30-60% denaturing gradient	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โทพอสเฟต ที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ	118
36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย ที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ	121
37	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท ที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ	124
38	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก ที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ	127
ภาพผนวกที่		
ก1	ข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ เดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2557	170
ก2	แนวโน้มปริมาณสาหร่ายเปรียบเทียบกับคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละเดือน	171
ข1	เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA รุ่น Light Cycler Nano ยี่ห้อ Roche	179
ข2	ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น Mini-Sub cell GT ยี่ห้อ Bio rad	179
ข3	เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) รุ่น PowerPac™ Basic ยี่ห้อ Bio rad	180
ข4	เครื่องให้กำเนิดแสง UV (UV transilluminator) รุ่น ECX-20 ยี่ห้อ Vilber lourmat	180
ข5	ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น DCode™ system ยี่ห้อ Bio rad	181
ค1	อุปกรณ์ประกอบการวัดขนาด	186
ค2	การเทียบขนาดของ ocular micrometer กับขนาดของ stage micrometer ที่กำลังขยาย 40x และ 100x	187

ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำ
ในอ่างเก็บน้ำบางพระ

Correlation of Algal Proliferation and Water Quality
in Bang Phra Reservoir

คำนำ

อ่างเก็บน้ำเป็นแหล่งเก็บน้ำที่ไหลมาตามร่องน้ำหรือลำน้ำธรรมชาติ โดยการสร้างแนวกันปิดกั้น เพื่อเก็บกักน้ำรวบรวมไว้จนเกิดเป็นแหล่งเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่ สร้างขึ้นสำหรับเก็บน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและใช้ประโยชน์ในการเกษตร เป็นสถานที่สำหรับนันทนาการ พักผ่อนหย่อนใจ ตลอดจนเป็นแหล่งกักเก็บน้ำฝนและน้ำท่า ป้องกันและลดผลกระทบจากสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศและอุทกภัย จัดเป็นแหล่งน้ำที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง (Vorosmarty *et al.*, 2000) เมื่อแหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารจำพวกสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูง จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของสาหร่าย เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันและการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ ซึ่งสาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์น้ำ มีการตรวจพบการแพร่กระจายของสาหร่ายหลายแหล่งในประเทศไทย โดยระบุถึงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นหลัก ซึ่งสาหร่ายกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่สามารถผลิตสารพิษได้ และมักจะแพร่กระจายตามฤดูกาลและสภาวะของแหล่งน้ำ (วิเชียร และคณะ, 2544; Sompong *et al.*, 2005) ปัญหาเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในการอุปโภคและบริโภค รวมไปถึงอ่างเก็บน้ำบางแห่งที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหากับกระบวนการผลิตและคุณภาพน้ำประปาได้

อ่างเก็บน้ำบางพระ ตั้งอยู่ในอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งน้ำที่ชุมชนในพื้นที่ใช้ประโยชน์หลายอย่าง กักเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการอุตสาหกรรม และเป็นแหล่งน้ำดิบในการทำประปาเพื่อการบริโภค สามารถกักเก็บน้ำได้ 110 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเก็บน้ำบางพระมีปรากฏการณ์การเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของสาหร่าย โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสายพันธุ์ *Microcystis aeruginosa* ถูกระบุว่า เป็นประชากรกลุ่มหลัก การเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของสาหร่ายจะเกิดในช่วงปลายฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาว เนื่องจากมีปริมาณสารอาหารสูง (อาหารคั้ง และ

คณะ, 2542; ศิริพงษ์, 2544; ศิริพร และนิศานาถ, 2550) ทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะมีสารพิษจากสาหร่ายปนเปื้อนในน้ำ และยังสร้างปัญหาให้กระบวนการผลิตน้ำประปา งานวิจัยนี้ทำการติดตามปริมาณประชากรและความหลากหลายของสาหร่ายในแต่ละเดือน โดยตรวจวิเคราะห์ประชากรของสาหร่ายโดยใช้คลอโรฟิลล์ เอ และตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายในแหล่งน้ำและเป็นข้อมูลในการทดสอบการกำจัดสาหร่ายในกระบวนการผลิตน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์จำนวนประชากรและความหลากหลายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระในแต่ละเดือน
2. วิเคราะห์ประเมินคุณภาพน้ำและผลของคุณภาพน้ำโดยเฉพาะสารอาหารหลัก ที่มีผลต่อการแพร่กระจายและปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ



การตรวจเอกสาร

ทรัพยากรแหล่งน้ำ

โลกของเราประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตของพืชและสัตว์บนโลกรวมทั้งมนุษย์ โดยเฉพาะมนุษย์จะใช้น้ำทั้งในการอุปโภค บริโภค การเกษตร การคมนาคม หรือแม้แต่การพักผ่อนหย่อนใจ น้ำจึงถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตบนโลก แต่การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในอุตสาหกรรมและการเกษตรของมนุษย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพน้ำ ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมทางด้านคุณภาพของน้ำ ซึ่งอาจก่อผลกระทบร้ายแรงได้ในอนาคต ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางด้านมลพิษทางน้ำ หรือถ้าแหล่งน้ำนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารจำพวกสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูง จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของสาหร่าย เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันได้ ความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และคาดว่าจะเป็นที่ทรัพยากรที่มีข้อจำกัดในอนาคต จึงจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ เพื่อให้ได้น้ำที่มีปริมาณพอเหมาะ เพียงพอแก่ความต้องการ ให้ได้น้ำที่มีคุณภาพดี ใสสะอาด ให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น การใช้ในการเกษตร การชลประทาน และการอุตสาหกรรม เป็นต้น

แหล่งน้ำในธรรมชาตินั้น แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำผิวดิน (surface water) และน้ำใต้ดิน (ground water) (Winter *et al.*, 1998)

1. น้ำผิวดิน (surface water) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาเกิดการสะสมตัวกันอยู่บริเวณพื้นผิวดิน ซึ่งฝนที่ตกลงมาในระยะแรกน้ำมักจะซึมลงไปในดินก่อนจนกระทั่งดินอิ่มตัวแล้ว จึงมีน้ำค้างอยู่ตามลุ่มน้ำหรือแหล่งน้ำขนาดเล็ก โดยลักษณะการไหลของน้ำผิวดินบนโลกแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือการไหลแบบแผ่ซ่าน (sheet flow) โดยไหลไปตามความลาดเอียงของพื้นผิว และมีระดับความลึกไม่มากและการไหลตามร่อง (channel flow) หรือเป็นลักษณะการไหลของน้ำไปตามลำธาร

น้ำผิวดินนับเป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์มากต่อมนุษย์ในด้านการดำรงชีวิต สำหรับลักษณะน้ำผิวดินทั่วไปเราสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

อ่างเก็บน้ำ (reservoir) เป็นแหล่งน้ำผิวดินที่รองรับน้ำจากน้ำฝน ที่ไหลจากพื้นที่ที่สูงกว่า ลงมารวมกันในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นอ่างเก็บน้ำหมายถึงทะเลสาบน้ำจืดที่สร้างขึ้นโดยการก่อสร้าง เขื่อนขวาง ปิดกั้นลำน้ำธรรมชาติ

แม่น้ำและลำคลอง (stream and river) แหล่งน้ำผิวดินนี้เกิดจากการเซาะพังของแม่น้ำและ ลำคลอง ในเวลาเดียวกันแหล่งน้ำผิวดินประเภทนี้มักไหลตามความลาดชันของสภาพภูมิประเทศ ลงสู่ทะเล

ที่ลุ่มน้ำขัง (swamp) คือ บริเวณผิวดินที่มีน้ำแช่ขัง ไม่มีทางระบายออกไปสู่บริเวณอื่น ๆ และมีพืชน้ำขึ้นผสมปะปนอยู่ด้วย โดยเฉพาะบริเวณน้ำตื้น พบมากบริเวณที่ราบภาคกลางของไทย

ที่ลุ่มชื้นแฉะ (marsh) คือ พื้นที่ที่มีระดับน้ำตื้น ๆ พอที่พืชน้ำจะขึ้นได้อย่างกระจุกกระจาย ทั่วไป แต่จะมีความหนาแน่นไม่มากนัก

พรุ (bog) เป็นบริเวณแหล่งน้ำผิวดินที่ชื้นแฉะ มีพืชน้ำขึ้นปกคลุมหนาแน่น พืชบางส่วน ที่ตายจะสะสมตัวอยู่ใต้น้ำ บางส่วนกลายเป็นโคลนหนามีซากพืชสัตว์ทับ

แหล่งน้ำผิวดินสามารถแบ่งตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2537) ได้ 5 ประเภท

แหล่งน้ำประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจาก น้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน รวมถึงการขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐานและการอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถ เป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่าน กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน รวมถึงการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและ กีฬาทางน้ำ

แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนนำไปใช้ในการเกษตร

แหล่งน้ำประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

2. น้ำใต้ดิน (ground water) แบ่งได้เป็นน้ำใต้ดินชั้นตื้น ซึ่งมักพบในระยะใต้ดินลึกประมาณ 2 ถึง 10 เมตร เป็นน้ำที่เกิดจากน้ำผิวดินซึมลงไป และไม่สามารถไหลซึมลงไปในพื้นที่ได้อีก เนื่องจากสภาพของชั้นดินไม่เอื้ออำนวย เช่น เป็นชั้นดินเหนียวหรืออาจมีชั้นดินดานกั้นอยู่ น้ำประเภทนี้มีปริมาณน้อยโดยทั่วไปไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการประปาขนาดใหญ่ ๆ ได้ และน้ำใต้ดินชั้นลึกหรือน้ำบาดาล เป็นน้ำที่เกิดจากน้ำผิวดินซึมลงไปลึกจากชั้นผิวดินชั้นของน้ำใต้ดินนี้เรียกว่าชั้นน้ำบาดาล (aquifer) ซึ่งมักจะพบในชั้นทรายที่อุ้มน้ำที่แทรกตัวอยู่ระหว่างหินกั้นน้ำ หรือชั้นดินดานที่น้ำซึมผ่านไม่ได้

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสาหร่าย

1. ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ แตกต่างจากสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำอื่น ๆ คือ มีคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) สามารถสังเคราะห์แสง ดำรงชีวิตอยู่แบบพืช แต่เป็นพืชที่ไม่มีระบบท่อลำเลียง มีความหลากหลายทั้งขนาดและรูปร่าง อาจมีโครงสร้างแบบเซลล์เดียว (unicellular) กลุ่มเซลล์ (colony) เส้นสาย (filamentous) รูปท่อ (siphonous) จนถึงสาหร่ายขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเนื้อเยื่อพาราไคนิม (parenchymatous) (Round, 1973; Trainor, 1978) สาหร่ายที่มีขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างได้ด้วยตาเปล่า (microalgae) ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ และ

บางชนิดมีขนาดใหญ่จึงมองเห็นด้วยตาเปล่า (macroalgae) โดยส่วนใหญ่โครงสร้างของสาหร่ายเหมือนมีราก ลำต้น และใบ รวมเรียกว่า ทัลลัส (thallus) (Round, 1973) สาหร่ายเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม สาหร่ายแต่ละชนิดมีการแพร่กระจายในธรรมชาติได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเฉพาะตัว และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ไม่เท่ากัน สาหร่ายชนิดใดปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี จะพบสาหร่ายชนิดนั้นได้แทบทุกแห่ง แต่บางชนิดจะพบในบางแห่งและบางฤดูกาลเท่านั้น (Bold and Wynne, 1978)

สาหร่ายมีการดำรงชีวิตแบบ autotrophic organism จึงมีบทบาทในระบบนิเวศในฐานะผู้ผลิต เป็นจุดเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหาร เป็นอาหารของผู้บริโภค มีบทบาทสำคัญทั้งประโยชน์และโทษ จัดเป็นผู้ผลิตชั้นปฐมภูมิ มีการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ จากการนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสังเคราะห์แสงดังสมการที่ (1)



สาหร่ายมีประโยชน์กับมนุษย์ในด้านการเป็นอาหาร ด้านอุตสาหกรรม และการผลิตยาปฏิชีวนะ สำหรับโทษของสาหร่ายคือทำให้เกิดโรคและสร้างสารพิษที่เป็นอันตราย (กรรณิการ์, 2543; ศิริประภา, 2546; ยุกดี, 2549)

2. การแบ่งกลุ่มของสาหร่าย

สาหร่ายสามารถแบ่งกลุ่มได้หลายกลุ่มโดยยึดหลักเกณฑ์ในการแบ่ง เช่น การแบ่งตามที่อยู่อาศัยและการแบ่งตามรูปร่างลักษณะ

2.1 การแบ่งกลุ่มของสาหร่ายตามที่อยู่อาศัย

สาหร่ายสามารถแบ่งตามแหล่งที่อยู่อาศัยเป็น 6 กลุ่ม (Trainor, 1978) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 สาหร่ายที่เจริญในแหล่งน้ำ (aquatic habitat) ซึ่งรวมทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยมีรูปแบบการเจริญเป็น 2 ประเภทคือ

- แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่ลอยไปกับกระแสน้ำ พบได้เกือบทุกส่วนของลำน้ำ จัดเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในระบบนิเวศแหล่งน้ำ มีแพลงก์ตอนบางกลุ่มที่สามารถอพยพในแนวตั้ง (vertical migration) ในรอบวันหรือตามฤดูกาล ซึ่งสามารถทำได้เฉพาะในแหล่งน้ำนิ่งเท่านั้น

- สาหร่ายยึดเกาะ (attached algae) พบได้ทั้งสาหร่ายขนาดเล็กและสาหร่ายขนาดใหญ่ สาหร่ายขนาดเล็กอาจจะยึดเกาะกับสาหร่ายชนิดอื่น พืชน้ำ ก้อนหิน พื้นทราย หรือตัวสัตว์ สำหรับสาหร่ายขนาดใหญ่เกาะกับพื้นทรายหรือก้อนหินบริเวณชายฝั่ง ในระดับที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านไปถึง

กลุ่มที่ 2 สาหร่ายที่เจริญร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น (associations with other organisms) อาจเป็นการเจริญร่วมกันแบบพึ่งพาหรือการเจริญแบบปรสิต สามารถแบ่งตามประเภทของสิ่งมีชีวิตที่สาหร่ายเจริญร่วม ได้แก่

- สาหร่ายที่เจริญร่วมกับสัตว์หรือในตัวสัตว์ โดยมีการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) สาหร่ายเหล่านี้มักถูกเรียกว่า zooxanthellae หรือ zoochlorellae สามารถพบได้ในโปรตัวชัว ฟองน้ำ หนอนตัวแบน แมงกะพรุนและหอย

- สาหร่ายที่เจริญร่วมกับพืช หรือสาหร่ายชนิดอื่น โดยมีการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน เช่น ลิเวอร์เวิร์ด เฟิร์นหรือรากของปรง

- สาหร่ายที่เจริญร่วมกับรา โดยมีการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกันพบได้ทั้งในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว

กลุ่มที่ 3 สาหร่ายที่เจริญบนหิมะ (snow algae) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวขนาดเล็ก เมื่อเซลล์ตกอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม (อุณหภูมิต่ำ) จะเปลี่ยนเป็นแอฟลาโนสปอร์ (aplanospore) ที่มีรูปร่างกลม ภายในสะสมแอสตาแซนทิน (astaxanthin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงพวกแคโรทีนอยด์ทุติยภูมิ (secondary carotenoid) จึงทำให้เห็นหิมะเปลี่ยนเป็นสีแดงไปตามสีของสาหร่าย

กลุ่มที่ 4 สาหร่ายที่เจริญในแหล่งน้ำพุร้อน (algae in hot springs) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เจริญได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

กลุ่มที่ 5 สาหร่ายที่เจริญบนดิน (soil algae) ประกอบด้วยสาหร่ายขนาดเล็กหลายกลุ่ม เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียวและไดอะตอม สาหร่ายที่เจริญบนดินมักเป็นสาหร่ายที่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง สาหร่ายเหล่านี้อาจเจริญบนผิวน้ำหรือเจริญลงในดิน

กลุ่มที่ 6 สาหร่ายที่เจริญในอากาศ (airborne algae) เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่ปลิวไปในอากาศ สาหร่ายเหล่านี้อาจพบเจริญอยู่ในน้ำ เมื่อมีลมพัดผ่านผิวน้ำ สาหร่ายสามารถปลิวไปได้หรืออาจเจริญอยู่บนดิน เมื่อดินมีสภาพแห้งเป็นฝุ่นอาจโดนลมพัดฟุ้งกระจายไปในอากาศ

2.2 การแบ่งกลุ่มของสาหร่ายตามฐานวิชา (อนุกรมวิธานของแพลงก์ตอนพืช)

แพลงก์ตอนพืชเป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายมากในเรื่องรูปร่างลักษณะ ดังนั้นการจำแนกหมวดหมู่จึงเกิดความยุ่งยากและสับสน ประกอบกับแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่มมีหมวดที่เรียกว่า “phytoflagellate” ซึ่งเป็นกลุ่มที่นักพฤกษศาสตร์จัดอยู่ในกลุ่ม algae และนักสัตววิทยาจัดว่าเป็น protozoa ดังนั้นการตั้งชื่อวิทยาศาสตร์จึงใช้รหัสหรือกฎนานาชาติที่ว่าด้วยการตั้งชื่อทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบของพืช (International Code of Botanical Nomenclature, ICBN) และระบบของสัตว์ (International Code of Zoological Nomenclature, ICZN) ทำให้บางครั้งพืชและสัตว์อาจมีชื่อซ้ำกัน ในศาสตร์ทางอนุกรมวิธานได้ปรับเปลี่ยนการจำแนกหมวดหมู่บ่อยครั้ง เนื่องจากปัจจุบันมีการศึกษารายละเอียดของออร์แกนเนลในเซลล์ได้ดีขึ้น ตารางที่ 1 แสดงการจัดจำแนกแพลงก์ตอนโดยนักพฤกษศาสตร์ในช่วงปี 1950 ถึง 1985

การจัดหมวดหมู่เบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืชในระดับ หมวด (division) ชั้น (class) หรืออันดับ (order) สามารถใช้หลักเกณฑ์ 5 ประการ (Bold and Wynne, 1978; Lee, 1980; ลัดดา, 2544)

ตารางที่ 1 การจัดหมวดหมู่ของแพลงก์ตอนพืชโดยนักพฤกษศาสตร์ในช่วงปี 1950 ถึง 1985

Smith (1950)	Prescott (1962)	Christensen (1962)	Bold and Wynne (1985)
Chlorophyta	Cyanophyta	Cyanophyta	Cyanophyta
Cyanophyta	Chlorophyta	Chlorophyta	Chlorophyta
Euglenophyta	Chrysophyta	Chromophyta	Charophyta
Pyrrophyta	Euglenophyta		Euglenophyta
Chrysophyta	Chloromonadophyta		Phaeophyta
Phaeophyta	Pyrrophyta		Chrysophyta
Rhodophyta	Cryptophyta		Pyrrophyta
			Cryptophyta
			Rhodophyta

ประการที่ 1 ชนิดรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (type of photosynthetic pigments) การที่แพลงก์ตอนพืชมีสีต่างกัน ทั้งสีเขียว สีเขียวแกมน้ำเงิน สีนํ้าตาล หรือสีแดงเพราะมีรงควัตถุชนิดต่าง ๆ อยู่ในเซลล์ ซึ่งอาจกระจายอยู่ในเซลล์หรือในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมนํ้าเงิน หรืออาจอยู่ในออร์แกเนล (organelle) ที่เรียกว่า พลาสติด (plastid) จำพวกคลอโรพลาสต์ (chloroplast) หรือโครโมพลาสต์ (chromoplast) ซึ่งมีรูปร่างแน่นอน เช่น สาหร่ายสีเขียว (green algae) ไดอะตอม (diatom) ไดโนแฟลเจลเลต (dinoflagellate) ยูกลีโนอยด์ (euglenoid) เป็นต้น รงควัตถุหลักมี 3 ชนิด ซึ่งชนิดของรงควัตถุที่มีในสาหร่าย แสดงในตารางที่ 2 โดยคุณสมบัติของรงควัตถุแสดงดังต่อไปนี้

- คลอโรฟิลล์ (chlorophylls) เป็นสารสีเขียว ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง มี 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ บี ซี และดี (chlorophyll a, b, c, d) ชนิดคลอโรฟิลล์ที่พบในแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายทุกชนิดคือ คลอโรฟิลล์ เอ ส่วนชนิดอื่นจะพบในแพลงก์ตอนพืชที่ต่างชนิดกันไป คลอโรฟิลล์มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์

- แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารสีประกอบ (accessory pigments) ซึ่งมีสีเหลืองหรือส้ม จะดูดซึมสีน้ำเงินและเขียว แล้วปล่อยแสงสีเหลืองและสีแดงให้ผ่านออกมา จึงเห็นเป็นสีเหลืองหรือสีส้มแดง แบ่งเป็น 2 ชนิด

ชนิดที่ 1 แคโรทีน (carotenes) มีสีส้ม เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีออกซิเจน (oxygen-free hydrocarbon) มี 3 ชนิด ได้แก่ แอลฟา เบตา และเอปซีลอน (α -, β -, และ ϵ - carotene)

ชนิดที่ 2 แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) หรือ ออกซีแคโรทีน (oxycarotene) มีสีเหลือง เป็นสารพวกอนุพันธ์ที่มีออกซิเจน (oxygenated derivative) ของแคโรทีน มีหลายชนิด เช่น lutein, fucoxanthin, myxoxanthophyll, diadinoxanthin, diatoxanthin และ peridinin

- ไฟโคบิลิโพรตีน (phycobiloproteins) เป็นสารสีประกอบเช่นเดียวกับแคโรทีนอยด์ แต่ไฟโคบิลิโพรตีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่รวมอยู่กับโปรตีน มีโครงสร้างแบบ tetrapyloric พบเฉพาะในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดงเท่านั้น

ตารางที่ 2 รงควัตถุชนิดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงกับสิ่งมีชีวิตที่มีรงควัตถุชนิดนั้น ๆ

ชนิดของรงควัตถุ (type of pigments)	สิ่งมีชีวิตที่เป็นแหล่งของรงควัตถุ (occurrence)
Chlorophylls	
chlorophyll a	พืชชั้นสูงและสาหร่ายทุกชนิด
chlorophyll b	พืชชั้นสูงและสาหร่ายสีเขียว
chlorophyll c	สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม
chlorophyll d	สาหร่ายสีแดง
Carotenoids	
bata-carotene	พืชชั้นสูงและสาหร่าย
alpha-carotene	พืชชั้นสูงและสาหร่าย
lutein	พืชชั้นสูง สาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีแดง
fucoxanthin	สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม
Phycobilins	
phycoerythrin	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดง
phycocyanin	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดง
allophycocyanin	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดง

ที่มา: ยูดี้ (2549)

ประการที่ 2 ประเภทของอาหารสะสม (type of reserved product) อาหารสะสมเป็นผลจากการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ได้มาจากน้ำหรือแหล่งไฮโดรเจนอื่น ๆ เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ผลจากการสังเคราะห์แสง จะได้น้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการหายใจในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) อาหารสะสมของสาหร่ายจะได้สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเก็บสะสมไว้ในรูปของแป้ง (starch) ไขมัน (fat) และโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide)

อาหารสะสมในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช

- แป้ง (starch) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วย อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งเป็นอาหารสะสมที่พบในสาหร่ายสีเขียว อาหารสะสมจำพวกแป้งของสาหร่ายสีเขียวเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะกลมใส และไม่มีสี อยู่ในคลอโรพลาสต์ ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะอยู่ในรูปของแป้งไซยาโนไฟซิน (cyanophycean starch)
- ไขมัน (fat) เป็นอาหารสะสมที่พบมากในไดอะตอม พวกสาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (chrysophyceae) ไดโนแฟลเจลเลต และจะพบในสาหร่ายกลุ่มอื่นแต่มีปริมาณน้อย ไขมันที่พบบ่อยจะพบในลักษณะเม็ดกลมใสไม่มีสี
- โพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ส่วนใหญ่สะสมไว้ในผนังเซลล์ ได้แก่ เพคติน (pectin) กลูแคน (glucan) ไซแลน (xylan) หรือเป็นสารเมือกที่อยู่นอกเซลล์ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้แพลงก์ตอนพืชเกิดรูปร่างต่าง ๆ ขึ้นมาได้ ซึ่งแต่ละกลุ่มเซลล์ (colony) มาเชื่อมต่อเป็นกลุ่มใหญ่โดยใช้ก้านซึ่งเป็นสารเมือกเชื่อมโยงกัน

ประการที่ 3 ชนิดขององค์ประกอบของผนังเซลล์ (type of cell wall components) เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชคล้ายกับเซลล์ของพืชทั่วไป คือ ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 3 ประการคือ ผนังเซลล์ ไซโตพลาสซึม และนิวเคลียส ผนังเซลล์ส่วนใหญ่มี 2 ชั้น ผนังชั้นนอกมีลักษณะอ่อนนุ่ม หรือเป็นเมือกละลายได้ในน้ำเดือด เป็นพวกเพคติน ส่วนผนังชั้นในประกอบด้วยเซลลูโลสซึ่งทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงและคงรูปอยู่ได้ แพลงก์ตอนพืชบางชนิดไม่มีผนังเซลล์ที่แท้จริง แต่มีเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ทำหน้าที่คล้ายผนังเซลล์ เรียกว่า

เพริพลาสต์ (periplast) ในพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะมีสารเมือก (mucilaginous substances) หุ้มผนังเซลล์ชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง สารเมือกมีความบางหนาต่างกัน ประกอบด้วยกรดเพคตินและมิวโคโพลีแซกคาไรด์

ประการที่ 4 ลักษณะของหนวด (characteristic of flagella) หนวดเป็นโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ อาจพบทั้งในเซลล์ปกติ (vegetative cell) หรือเซลล์สืบพันธุ์ (reproductive cell) เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชทุกชนิด ยกเว้นดิวิชัน Cyanophyta จะมีหนวด โดยหนวดแบ่งออกเป็นหลายประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

- อะโครเนมาติก (acronematic) หนวดเป็นเส้นเรียบคล้ายเส้น
- แพนโทเนมาติก (pantonematic) หนวดที่มีขนแข็งอยู่รอบแกนหนวด (axoneme) 1 ถึง 2 แถว
- หนวดอื่น ๆ เช่น fibrous hairs เป็นขนบาง ๆ อยู่รอบแกนหนวดและบางชนิดมีเกล็ด (scales)

การใช้หนวดเป็นเกณฑ์การแบ่งต้องดูจำนวนและตำแหน่งของหนวด

- จำนวนของหนวด ในแต่ละเซลล์มี 1, 2, 4, 8 หรือเป็นวง แต่ส่วนใหญ่มักจะมี 2 เส้น ซึ่งอาจจะยาวเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้
- ตำแหน่งของหนวด ได้แก่ จุดตั้งต้นบนสุดของเซลล์ (apical origin) อยู่ต่ำกว่าด้านบนสุดเล็กน้อย (subapical origin) อยู่ด้านข้าง (lateral origin) อยู่ด้านล่างสุดของเซลล์ (posterior origin) และอยู่ด้านท้อง (ventral origin)

ประการที่ 5 ลักษณะพิเศษของโครงสร้างของเซลล์ (special structure of the cell) มีประโยชน์มากในการจำแนกเบื้องต้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้จะพบเฉพาะกลุ่มแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่มเท่านั้น เช่น เซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีโครงสร้างแบบพืชชั้นต่ำ (procarpytic cell) คือ เซลล์ยังไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง (นิวเคลียสไม่มีผนังหุ้ม และนิวเคลียสไม่แยกออกจาก

ไซโตพลาสซึม) ไม่มีคลอโรพลาสต์ ดังนั้นสารสีจึงกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม หรือลักษณะพิเศษของไดอะตอม คือ เซลล์ประกอบด้วยฝาสองฝากรอบกันพอดี ผนังเซลล์ประกอบด้วยซิลิกาและยังมีลวดลายต่าง ๆ บนฝา ส่วนพวกไดโนแฟลเจลเลต มีลักษณะพิเศษต่างจากกลุ่มอื่น คือ เซลล์แบ่งออกเป็น 2 ซีก และจุดตั้งต้นของหนวดอยู่ที่ด้านบนสุดของเซลล์ เป็นต้น

3. การสืบพันธุ์ของสาหร่าย

การสืบพันธุ์ของสาหร่าย มี 2 แบบ ดังนี้ (ลัดดา, 2544)

3.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ประกอบด้วย

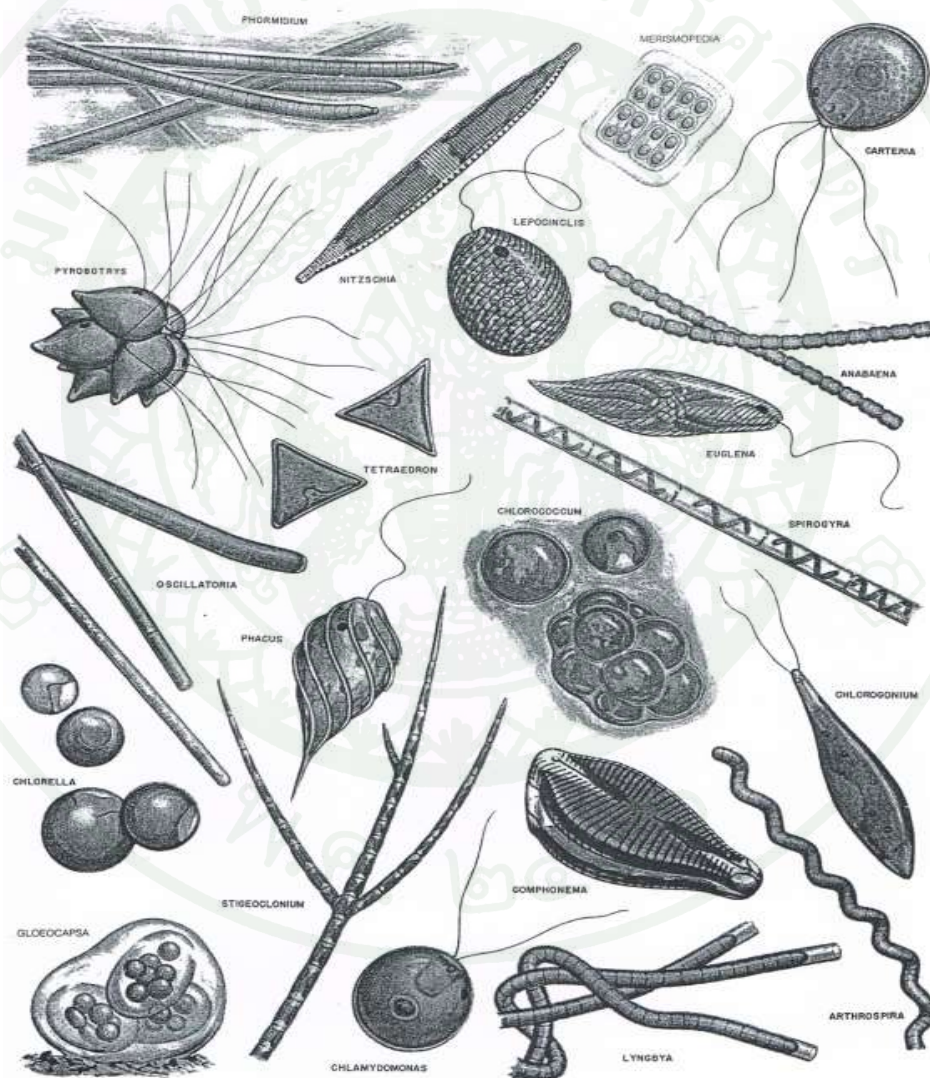
- การแบ่งเซลล์ (cell division) จาก 1 เป็น 2 เซลล์ พบในสาหร่ายที่มีเซลล์เดี่ยว และกลุ่มเซลล์
- การขาดท่อน (frangmentation) พบในสาหร่ายที่มีรูปร่างแบบเส้นสาย โดยแต่ละท่อนที่ขาดออกจะเจริญเติบโตต่อไปเป็นเส้นใหม่
- การสร้างอะคิเน็ต (akinete) หรือ โคนีเดีย (gonodia) พบในสาหร่ายที่เป็นเส้นด้าย โดยเซลล์ใดเซลล์หนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ มีผนังเซลล์ที่หนาขึ้น มีอาหารสะสมมากขึ้น และเซลล์มีขนาดใหญ่กว่าปกติ
- การสร้างสปอร์ (sporulation) การสืบพันธุ์ประเภทนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างกะทันหัน เช่น เปลี่ยนจากที่สว่างเป็นที่มืด สปอร์อาจเกิดขึ้นภายในเซลล์ปกติหรือในเซลล์พิเศษ เช่น อะคิเน็ต เป็นต้น

3.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) เป็นการสืบพันธุ์โดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า แกมีต (gamete) แยกเป็นเพศผู้และเพศเมีย ลักษณะของแกมีตคล้ายกับซุโอสปอร์ (zoospore) แตกต่างกันที่ขนาดและจำนวนซึ่งส่วนใหญ่แกมีตจะมีขนาดเล็กกว่าซุโอสปอร์

ชนิดของสาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำต่าง ๆ

แหล่งน้ำแต่ละแหล่งมีความหลากหลายของสาหร่ายอย่างมาก ซึ่งชนิดของสาหร่ายที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 1 ถึง 4

- สาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำจืด (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำจืด

ที่มา: APHA and AWWA (2012)

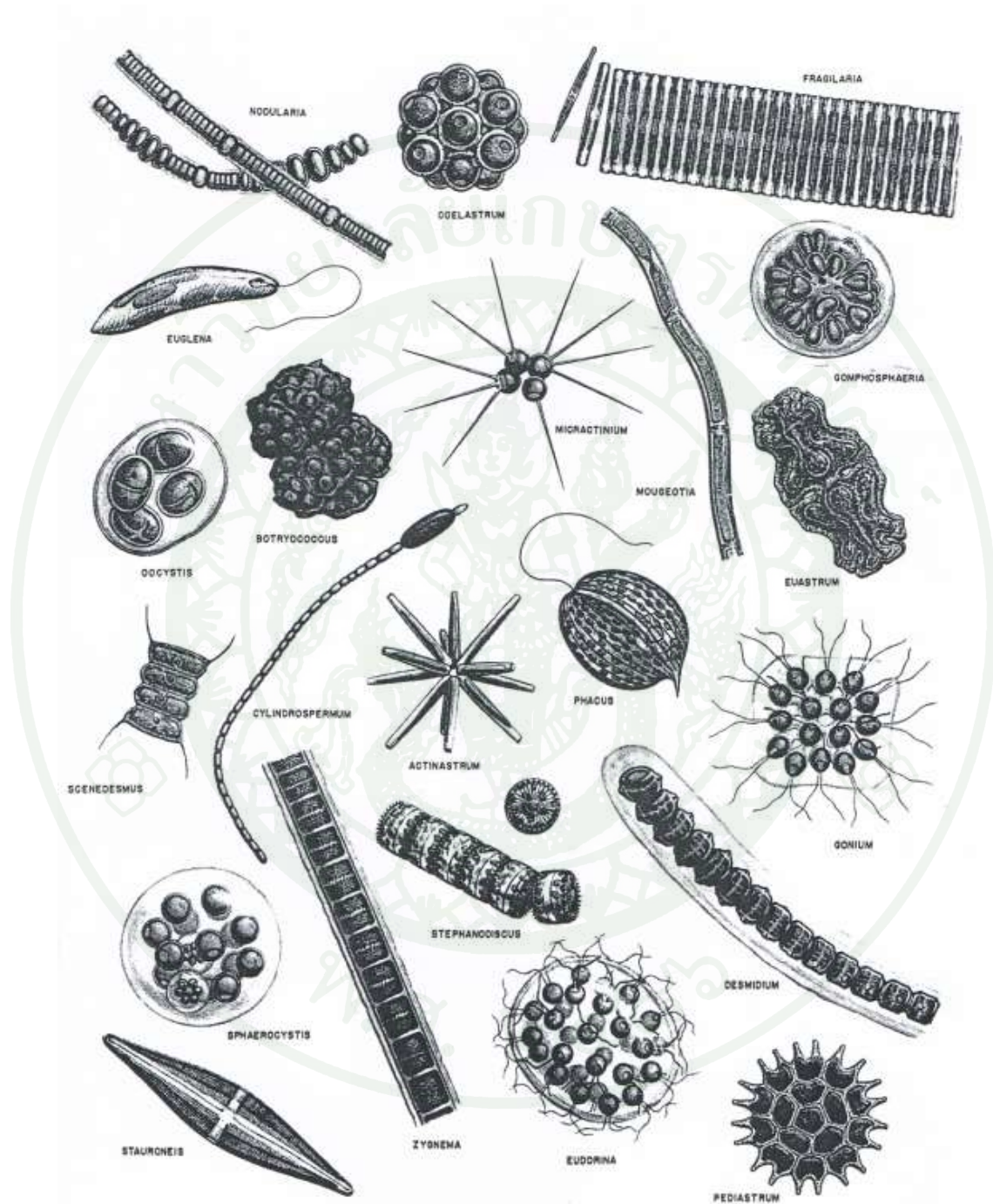
- สาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำสะอาด (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 สาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำสะอาด

ที่มา: APHA and AWWA (2012)

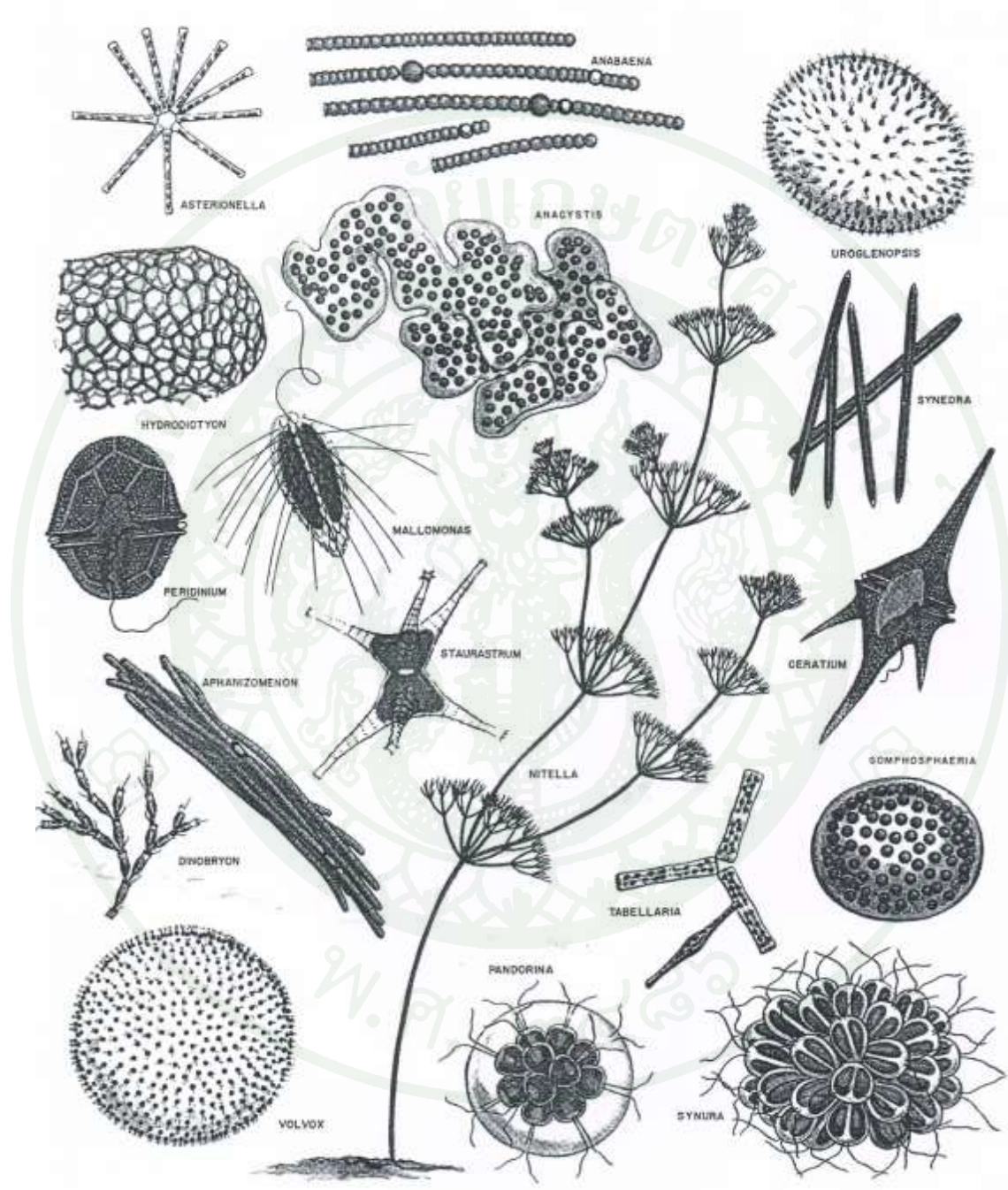
- แพลงก์ตอนและสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ในแหล่งน้ำผิวดิน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แพลงก์ตอนและสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ในแหล่งน้ำผิวดิน

ที่มา: APHA and AWWA (2012)

- สาหร่ายที่ก่อให้เกิดปัญหาหากลิ่นและรสในแหล่งน้ำ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 สาหร่ายที่ก่อให้เกิดปัญหาหากลิ่นและรสในแหล่งน้ำ

ที่มา: APHA and AWWA (2012)

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางเคมี

1. ปัจจัยทางกายภาพ

1.1 แสง (light)

แสงจากดวงอาทิตย์นั้นมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลก แสงสว่างจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานควบคุมการเกิดอาหาร การหมุนเวียนของน้ำ ปริมาณของความเข้มแสงที่ส่องลงจะลดลงตามระดับความลึกของแหล่งน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาบนพื้นโลกนั้นมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 นาโนเมตร (ultraviolet) ถึง 3000 นาโนเมตร (infrared) แสงที่มองเห็นมีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 390 ถึง 710 นาโนเมตร (Roberts, 1995)

แสงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต ถ้าได้รับความเข้มแสงมากเกินไป การเจริญเติบโตจะถูกยับยั้ง จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้รับและการสังเคราะห์แสง พบว่าการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อความเข้มแสงถึงระดับอิ่มตัว ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่เป็นสารประกอบคาร์บอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงสูง ๆ จะไปยับยั้งการปลดปล่อยผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (Watt, 1969) ช่วงแสงที่แพลงก์ตอนพืชต้องการในการสังเคราะห์ด้วยแสงคือช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร (Shirota, 1966)

1.2 อุณหภูมิ (temperature)

โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงเหนือน้ำทะเลและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ความขุ่นอีกด้วย ในแม่น้ำลำคลองทั่ว ๆ ไปในประเทศไทยจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 ถึง 35 องศาเซลเซียส (เปี่ยมศักดิ์, 2534) อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการ

ทางเคมีเกี่ยวกับการหายใจ และเมตาบอลิซึมของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญในการแพร่กระจายพันธุ์ และการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (Raymont, 1963)

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่าง ๆ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยอุณหภูมิมิมีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะ โปรตีนและไขมัน นอกจากนี้อุณหภูมียังมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยอุณหภูมิมิมีผลต่อพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเหล่านี้ (Richmond, 1986) ชนิดของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละฤดูกาลมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและปริมาณแสงที่เหมาะสม เช่น ที่อุณหภูมิ 15 ถึง 25 องศาเซลเซียสในฤดูใบไม้ผลิที่มีปริมาณความเข้มแสงมากและอุณหภูมิต่ำ สามารถพบไดอะตอมเป็นจำนวนมาก ในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณแสงมาก จะพบสาหร่ายสีเขียวมาก และในฤดูหนาวที่มีปริมาณแสงน้อยและมีอุณหภูมิต่ำ พบว่าไม่มีการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอน (Smith, 1950; Palmer and Pa, 1977) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชอบอาศัยในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 35 องศาเซลเซียสและแพลงก์ตอนพืชน้ำจืดทั่วไปเจริญเติบโตได้เหมาะสมที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส (Boney, 1975)

1.3 ความขุ่นและตะกอนแขวนลอย (turbidity and suspended solids)

ความขุ่นในแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่ถูกพัดพามากับกระแสน้ำ เช่น ดินตะกอน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และแพลงก์ตอน เป็นต้น หรือสารแขวนลอยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การขุดโคลนทรายในแหล่งน้ำ (Raymont, 1963) น้ำในแหล่งน้ำไหล เช่น แม่น้ำ ลำธาร จะมีความขุ่นมากกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง (Hynes, 1970) ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านลงไปใต้น้ำจะขึ้นกับความขุ่นของน้ำ ความขุ่นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแสง เมื่อน้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้แสงส่องลงไปได้น้อย ทำให้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนพืชจะมีการเจริญเติบโตไม่เต็มที่เพราะการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างจำกัด อยู่เฉพาะบริเวณผิวน้ำเท่านั้น แต่ถ้ามีปริมาณแสงมากเกินไปแพลงก์ตอนพืชก็จะเคลื่อนย้ายหลบลงสู่ที่ลึก (Shirota, 1966)

2. ปัจจัยทางเคมี

2.1 สภาพการนำไฟฟ้า (conductivity)

สภาพการนำไฟฟ้าเป็นความสามารถของน้ำในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการมีอยู่ของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต และฟอสเฟต (แอนไอออนคือไอออนที่มีประจุลบ) หรือ แคทไอออนของโซเดียม แมกนีเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม (แคทไอออนคือไอออนที่มีประจุบวก) การนำไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงค่าการนำไฟฟ้าก็ยิ่งมากขึ้น (วิลลิกษณ์, 2540 ; มั่นสิน และ มั่นรักษ์, 2551) แหล่งน้ำธรรมชาติทั่ว ๆ ไปมีสภาพนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150 ถึง 300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ถ้ามีค่าสูงกว่า 300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (มั่นสิน, 2540)

2.2 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างหรือค่าพีเอช (pH) ในน้ำจืดมีค่าอยู่ระหว่าง 6 ถึง 9 ค่า pH ของน้ำจะขึ้นกับอุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณของกรดคาร์บอนิก และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ แต่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับไบคาร์บอเนต ซึ่งจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม (Smith, 1992) ค่า pH มีความสำคัญต่อความสามารถในการใช้ธาตุอาหารในน้ำของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ ส่วนมากแพลงก์ตอนพืชสามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำที่มีค่า pH ในช่วง 6.8 ถึง 9.6 (Chapmann and Chapmann, 1973) แพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต เช่น *Trachelomonas* และ *Peridinium* สามารถอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 3 ถึง 5 แพลงก์ตอนพืชพวกเดสมิด (desmids) สำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียวบางชนิดสามารถอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 5 ถึง 6 ไดอะตอมสกุล *Eunotia* และสกุล *Frustulia* พบได้ในน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 (Smith, 1950; Round, 1981) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำที่มีค่า pH 9 ถึง 10 (Round, 1981)

2.3 ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำ หมายถึง คุณสมบัติของน้ำที่ทำให้กรดเป็นกลาง เป็นผลของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีอยู่จำนวนมากในรูปของแก๊สและรูปที่ละลายน้ำ ส่วนคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเป็นไอออนที่พบมากในแหล่งน้ำและเป็นตัวที่ทำให้น้ำที่เป็นบัฟเฟอร์ในน้ำ ซึ่งในน้ำธรรมชาติจะพบค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 10 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสัมพันธ์ระหว่างรูปต่าง ๆ ของความเป็นด่างในน้ำ แสดงดังสมการที่ (2)



ในแหล่งน้ำจะพบว่ามีการบวนการที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ คือกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้นกับจุดสมดุลในน้ำ ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



แพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน ทำให้น้ำมีสภาพความเป็นด่างมากขึ้นและค่อย ๆ ลดในตอนกลางคืน เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการหายใจ น้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6 ถึง 7.5 ในตอนเช้า หากมีปริมาณแพลงก์ตอนหนาแน่นค่า pH ในตอนบ่ายอาจจะสูงถึง 10 หรือมากกว่า ส่วนน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ pH มากนักโดยอาจมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 8 ในตอนเช้าและเพิ่มเป็น 9 ถึง 10 ในช่วงบ่าย ในแหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงมากประกอบด้วยมีค่าความกระด้างต่ำ ค่า pH อาจสูงมากถึง 11 ในระหว่างที่มีการสังเคราะห์แสง (Chapmann and Chapmann, 1973; Smith, 1992)

2.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องใช้ ออกซิเจนในกระบวนการของการเจริญเติบโต ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำส่วนหนึ่งได้มาจากการ สังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับความกดดัน บรรยากาศ อุณหภูมิ น้ำ ระดับความลึก และปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Maitland, 1978) แหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมักมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำประมาณ 5 ถึง 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมากกว่าแหล่งน้ำที่มีปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำต่ำ (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525) นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังเป็นดัชนีแสดง คุณภาพน้ำที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งด้วย จากการศึกษาของ Wetzel (1983) พบว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม ยูกลีนาออยด์สกุล *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*, *Polycystis*, *Spirulina* สามารถเจริญและทนต่อแหล่งน้ำเสียซึ่งมีออกซิเจนละลายน้ำต่ำ และปริมาณ สารอินทรีย์สูงได้ดี จึงสามารถใช้เป็นดัชนีสภาพการเน่าเสียของน้ำได้

2.5 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biochemical oxygen demand, BOD)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเป็นปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการย่อย สลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ค่า BOD แสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของ การปนเปื้อนหรือการเน่าเสียของน้ำ (วิไลลักษณ์, 2540) จากกระบวนการนี้จุลินทรีย์จะได้รับ พลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิไดซ์สารอาหารเหล่านี้อาจเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือ แอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร ถ้าค่า BOD สูง แสดงถึง น้ำนั้นมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก จึงต้องการใช้ออกซิเจนปริมาณมากในการย่อย สลายสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง ส่งผลต่อการอยู่รอดของสาหร่ายและ สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

2.6 ไนโตรเจน (nitrogen)

ไนโตรเจนที่อยู่ในระบบนิเวศแหล่งน้ำมีหลายรูปแบบ เช่น สารอินทรีย์และ สารอนินทรีย์ แต่ในการวิเคราะห์หาไนโตรเจนในน้ำนิยมหาในรูปสารอนินทรีย์ เช่น ไนเตรท ไนโตรเจน ซึ่งโดยปกติจะพบต่ำมากในแหล่งน้ำ มีความเข้มข้นไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนียไนโตรเจนในแหล่งน้ำทั่ว ๆ ไปมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนว่าไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไนโตรเจน และสารประกอบไนโตรเจนเป็นสารประกอบหลักของโปรตีน เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช สารประกอบไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและโปรตีน เรียงตามความชอบ คือ แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ซึ่งถ้ามีปริมาณไนโตรเจนมากมักจะพบสาหร่ายปริมาณมากด้วย (McCarthy *et al.*, 1977) ในแหล่งน้ำโดยทั่วไปจะพบสารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทมากกว่าไนไตรท์ ปริมาณของแอมโมเนียที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นในบริเวณพื้นน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ (Ruttner, 1968) ในแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้เนื่องจากมี heterocyst (Fogg, 1975) และจะสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ในแหล่งน้ำที่ขาดไนโตรเจน (Sommer, 1989) สาหร่ายทั่วไปต้องการไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved inorganic nitrogen, DIN) ในการเจริญเติบโต 0.02 มิลลิกรัมไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำต่อลิตร (mgDIN/L) (Ryding, 1988)

2.7 ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารต่าง ๆ และสร้างโปรตีนพลาสมิม ฟอสฟอรัสในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต ได้แก่ สารประกอบโพลีฟอสเฟต และสารประกอบออร์โธฟอสเฟต หรือ soluble reactive phosphorus (SRP) ซึ่งส่วนใหญ่พบในรูปของ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ที่สามารถละลายน้ำได้ แพลงก์ตอนพืชจะสามารถใช้ฟอสฟอรัสได้ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Raynolds, 1984) ในเวลาที่ขาดแคลนแพลงก์ตอนพืชจะสามารถสะสมสารประกอบฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ และมีเอนไซม์ alkaline phosphatase เพื่อเปลี่ยนสารประกอบให้เป็นออร์โธฟอสเฟต (ลัดดา, 2544) ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved inorganic phosphorus, DIP) ที่สาหร่ายทั่วไปต้องการในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 0.005 ถึง 0.010 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำต่อลิตร (mgDIP/L) (Ryding, 1988) การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อย จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงจะพบแพลงก์ตอนพืชปริมาณมากแต่มีจำนวนชนิดน้อย เนื่องจากมีโอกาสพบสาหร่ายสีเขียวเพียงไม่กี่ชนิด ซึ่งสาหร่ายสีเขียวเป็นสาหร่ายกลุ่มที่มีความหลากหลายมากที่สุด และสาหร่ายสีเหลือง

Dinobryon sp. พบส่วนน้อย หรือไม่พบเลย แพลงก์ตอนพืชที่พบได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในสกุล *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena* และพบ Dinoflagellate ได้แก่ *Peridinium bipes* และ *Ceratium* sp. ในปริมาณสูง (Prescott, 1962) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญเติบโตได้ดีที่ ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร (Round, 1973)

Willen (2001) ศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช ปริมาณสารอาหารและ คุณภาพน้ำจากทะเลสาบ 4 แห่งในประเทศสวีเดน ได้แก่ Malaren Lake, Hjalmen Lake, Vattern Lake และ Vanern Lake พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสมีผลกับปริมาณแพลงก์ตอนพืช คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแพลงก์ตอนพืชแปรผันตามปริมาณฟอสฟอรัส

2.8 เหล็ก (iron)

เหล็กเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม เพราะเป็นองค์ประกอบของไซโตโครมต่าง ๆ และนอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซึมไนโตรเจน และกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากมีผลต่อการสังเคราะห์รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง ได้แก่ ซี-ไฟโคไซยานิน และ คลอโรฟิลล์ เอ (Oquist, 1971)

ปัญหาจากการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของสาหร่ายในแหล่งน้ำ

จากการที่แหล่งน้ำต่าง ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี กายภาพ และกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติจึงกระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) (วิเชียร และคณะ, 2544) ยูโทรฟิเคชัน คือ สภาวะของแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารในปริมาณสูง การเกิดยูโทรฟิเคชันมาจากธาตุอาหารพืชและความอุดมสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ อันเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และพืชชั้นสูงเพิ่มมากขึ้น จนส่งผลกระทบต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่ อยู่ในน้ำ และคุณภาพน้ำ ทำให้สภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป กลไกปรับสภาวะสมดุลของแหล่งน้ำตามธรรมชาติถูกทำลาย ทำให้ความต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายพืชน้ำ ส่วนที่ตายแล้วสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลง จนในที่สุดเกิดสภาพขาดออกซิเจน ผลผลิตจากสภาวะไร้อากาศเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ส่งผลให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสีย องค์ประกอบทางชีวเคมีของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป ทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพไม่เหมาะสม

ที่จะใช้ในการอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม การเกษตร หรือแม้แต่การดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในสภาวะปกติกระบวนการยูโทรฟิเคชันจะเกิดอย่างช้า ๆ และเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติของระบบนิเวศแหล่งน้ำ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุขัยของแหล่งน้ำนั้น ๆ แหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารจำพวกสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูงนั้น ธาตุอาหารเหล่านี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโตสำหรับแพลงก์ตอนพืชและสาหร่าย อันเป็นแหล่งอาหารขั้นต้นของห่วงโซ่อาหาร แต่เมื่อมีปริมาณที่มากเกินไปร่วมกับสารอินทรีย์แล้ว ในที่สุดก็ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำขึ้น ธาตุอาหารเหล่านี้ก็จะไปกระตุ้นให้พืชสีเขียวในลำน้ำ หนอง คลอง บึง มีการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น และเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ สามารถบ่งชี้ได้จากปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่วัดได้ในรูปของคลอโรฟิลล์ เอ

การจัดแบ่งสถานะของระบบนิเวศ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Environmental Carrying Capacity Study, 2005)

1. Oligotrophic เป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอาหารน้อย ลักษณะของน้ำจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูง น้ำมีคุณภาพดี
2. Mesotrophic เป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอาหารและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในระดับปานกลาง ลักษณะของน้ำมีสีเขียวใสหรือขุ่นเล็กน้อย น้ำมีคุณภาพปานกลาง
3. Eutrophic เป็นแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการปนเปื้อนสารอาหารมาก น้ำมีสีเขียวขุ่นหรือเขียวคล้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะต่ำในตอนเช้าและตอนกลางคืน แต่จะสูงในเวลาบ่ายหรือเย็น

ปัจจุบันปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน กำลังกลายเป็นปัญหาสำคัญของแหล่งน้ำทั่วโลก อันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การพัฒนาทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศและคุณภาพของแหล่งน้ำ รวมทั้งความหลากหลายทางชีวภาพซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ จากระบบนิเวศ

ที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งแพลงก์ตอนพืชบางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) สามารถสร้างสารพิษในกลุ่ม cyanotoxin จากการสำรวจสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สร้างสารพิษ หลายชนิดมีความสามารถสร้างสารพิษได้มากกว่า 1 ชนิด (Chorus and Bartram, 1999) สารพิษจากสาหร่ายเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ก็จะเป็นสาเหตุการตายของปลาและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ยังทำให้ลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป (กลิ่น และสีของแหล่งน้ำ) ทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเมื่อเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำแล้วก็จะเกิดผลกระทบต่อ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (National Eutrophication Monitoring Programme Design, 2002)

การศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของสาหร่าย (แพลงก์ตอนพืช)

การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชน้ำและสาหร่าย จะแตกต่างกันตามปัจจัยหลายประการ เช่น คุณภาพน้ำ สภาพภูมิศาสตร์และฤดูกาล ตัวอย่างเช่น ในฤดูหนาวจะพบไดอะตอม (diatom) และสาหร่ายสีเขียว (green algae) เป็นจำนวนมาก ในฤดูร้อนจะพบสาหร่ายสีเขียวมากที่สุด และช่วงฤดูฝนจะพบไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) มากที่สุด การเพิ่มขึ้นของสาหร่ายเป็นจำนวนมากจะมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำและการใช้ประโยชน์จากน้ำของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรีย สกุล *Microcystis* ที่พบว่าสามารถผลิตสารพิษ *Microcystin* เป็นสารพิษที่ออกฤทธิ์ต่อเซลล์ตับ ความรุนแรงขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับสารพิษ ปริมาณของสารพิษ และขนาดของสัตว์ที่ได้รับสารพิษนั้น (อาภรณ์ และคณะ, 2542)

ปัจจุบันสภาวะยูโทรฟิเคชันเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเสมอในแหล่งน้ำทั่วทุกภูมิภาคของโลก สาหร่ายที่แพร่กระจายมีหลากหลายสายพันธุ์ กลุ่มที่มักพบเป็นสายพันธุ์หลัก คือ ไซยาโนแบคทีเรีย (Codd, 1995; Dittmann and Wiedgan, 2006) การศึกษาติดตามประชากรสาหร่ายที่แพร่กระจายในแหล่งน้ำในหลายภูมิภาคทั่วโลกได้ผลที่สอดคล้องกัน คือ พบไมโครซิสติส (*Microcystis*) เป็นประชากรกลุ่มหลัก และตรวจพบสารพิษไมโครซิสติน (*Microcystins*) ในปริมาณที่แปรผันตามประชากร เช่น ที่ประเทศญี่ปุ่น *Microcystis aeruginosa* (*M.aeruginosa*) เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำและสร้างสารพิษปริมาณมาก และ *Microcystis ichthyoblabe* เป็นสายพันธุ์ที่มีการแพร่กระจายมาก สามารถพบได้ทั้งสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษและไม่สร้างสารพิษ

สำหรับ *Microcystis wesenbergii* มีการแพร่กระจายแต่ไม่สร้างสารพิษ (Watanabe, 1996) Graham *et al.* (2010) รายงานการพบไซยาโนแบคทีเรียเจริญเติบโตหนาแน่นในปรากฏการณ์การแพร่กระจายของสาหร่ายใน 23 รัฐทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา โดยมี *Microcystis* เป็นประชากรกลุ่มหลัก ในประเทศจีน Xu *et al.* (2011) รายงานการเกิด *Microcystis* bloom เป็นครั้งแรกในแม่น้ำ Qinhuai ผลการศึกษาติดตามการแพร่กระจายของสาหร่ายในทะเลสาบ Taihu ในช่วง 11 ปีอย่างต่อเนื่อง พบว่า *Microcystis* เจริญตามฤดูกาล โดยที่สัดส่วนปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P) เป็นปัจจัยหลักของการเจริญ (Liu *et al.*, 2011) จากค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืช ($C_{106}N_{16}P$) สามารถคำนวณหาอัตราส่วนโดยมวล N:P เท่ากับ 7.2 (Redfield, 1934) ถ้าอัตราส่วน N:P น้อยกว่า 7 ในโตรเจนจะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต (nitrogen limiting) แต่ถ้าอัตราส่วน N:P มากกว่า 7 ฟอสฟอรัสจะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต (phosphorus limiting) (Ryding, 1988)

การศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของสาหร่ายในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่เขตร้อนซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการสำรวจแหล่งน้ำหลายแหล่งในประเทศ พบว่ากำลังประสบปัญหาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย เกิดปัญหาการจัดการแหล่งน้ำ เป็นสาเหตุการตายของสัตว์ หรือการอพยพย้ายถิ่นของสัตว์ปีก มนุษย์ก็ได้รับผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ เช่น การเล่นกีฬาทางน้ำ การเกษตร อุตสาหกรรม อีกทั้งมีความเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษที่ปนเปื้อนมากับการอุปโภคบริโภคน้ำ ในประเทศมีปรากฏการณ์การแพร่กระจายของสาหร่ายในแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่นกัน งานศึกษาของวิเชียร และคณะ (2544) ซึ่งสำรวจไซยาโนแบคทีเรีย กลุ่ม *Microcystis* ตามแหล่งน้ำต่าง ๆ 112 แห่ง ตรวจพบ *Microcystis* จำนวน 79 แห่ง โดยจำแนกได้ 98 สายพันธุ์ โดยสำรวจพบ *Microcystis aeruginosa* จำนวน 50 สายพันธุ์, *Microcystis ichthyoblabe* จำนวน 36 สายพันธุ์, *Microcystis wesenbergii* จำนวน 7 สายพันธุ์ และ *Microcystis* sp. จำนวน 5 สายพันธุ์ จากตัวอย่างที่รวบรวม จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของ *Microcystis aeruginosa* มีปริมาณมากที่สุด ส่วนใหญ่สามารถสร้างสารพิษไมโครซิสตินได้

ยูดี และคณะ (2541) ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ การกระจายและผลผลิตเบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนสิงหาคม 2538 ถึง มกราคม 2540 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 122 สายพันธุ์ ตัวที่เป็นปัญหาสำคัญของคุณภาพน้ำ คือ *M.aeruginosa* Kutzing มีการเพิ่มปริมาณอย่างมากและสร้างสารพิษไมโครซิสติน ซึ่งมีผลต่อดับโดยปัจจัยที่มีผลคือ ปริมาณฟอสฟอรัส ในด้านคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำนี้จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3 คือแหล่งน้ำที่สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคได้โดยต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำและฆ่าเชื้อโรคก่อน ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ 2537

ศิริพงษ์ (2544) ได้ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ปี 2543 ถึง 2544 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 8 กลุ่ม 110 สปีชีส์ โดยพบว่ากลุ่ม Cyanophyceae มีปริมาตรชีวภาพสูงที่สุดถึง 47% ของปริมาตรรวม ในช่วงเดือนเมษายนถึงสิงหาคม 2543 เป็นช่วงที่มีประชากรสูงสุด โดยพบ *C. phillippinensis* ในปริมาณสูงสุดและพบว่าเหล็กเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางบวก การศึกษาการแพร่กระจายของสาหร่าย *M.aeruginosa* พบว่ามีการกระจายตัวตามความลึก พบมากบริเวณผิวน้ำและลดลงตามระดับความลึก โดยค่าสารพิษ *microcystin*-RR ที่ตรวจพบสูงสุดเท่ากับ 0.0316 ไมโครกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำอยู่ในแหล่งน้ำประเภท 2 และ 3

พิษณุ (2552) ได้ศึกษาความหลากหลายและการกระจายตัวในแนวตั้งของแพลงก์ตอนที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ จังหวัดลำพูน ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2551 ถึง มิถุนายน 2552 ซึ่งปัจจุบันเป็นเหมืองที่หยุดการผลิตแล้ว แต่หลุมที่ขุดเจาะถ่านหินไปนั้นได้กลายเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่มีความลึกถึง 30 เมตร จึงมีแนวคิดที่จะฟื้นฟูให้แหล่งน้ำนี้มีสภาพคล้ายแหล่งน้ำทั่วไปและสามารถนำทรัพยากรในอ่างเก็บน้ำนี้มาใช้ประโยชน์ได้ จึงต้องมีการศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมถึงมีการศึกษาสิ่งมีชีวิตตั้งแต่ระดับผู้ผลิตไปจนถึงผู้บริโภคแบบบูรณาการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบ่งชี้สมบัติของน้ำ ซึ่งการศึกษานี้พบแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น ได้แก่ *Peridinium* sp. และ *Cylindrospermopsis raciborskii* พบแพลงก์ตอนสัตว์ในปริมาณที่น้อยมากได้แก่ *Halteria grandinella*, *Coleps hirtus*, *Branchionus angularis*, *Lepadella acuminata*, *Lecane hornemanni*, *Lecane luna*, *Cyclops* sp., *Diaptomus* sp. และ *Bosminopsis* sp. โดยแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบน่าจะเป็นสปีชีส์ที่ทนทานต่อความเป็นกรด

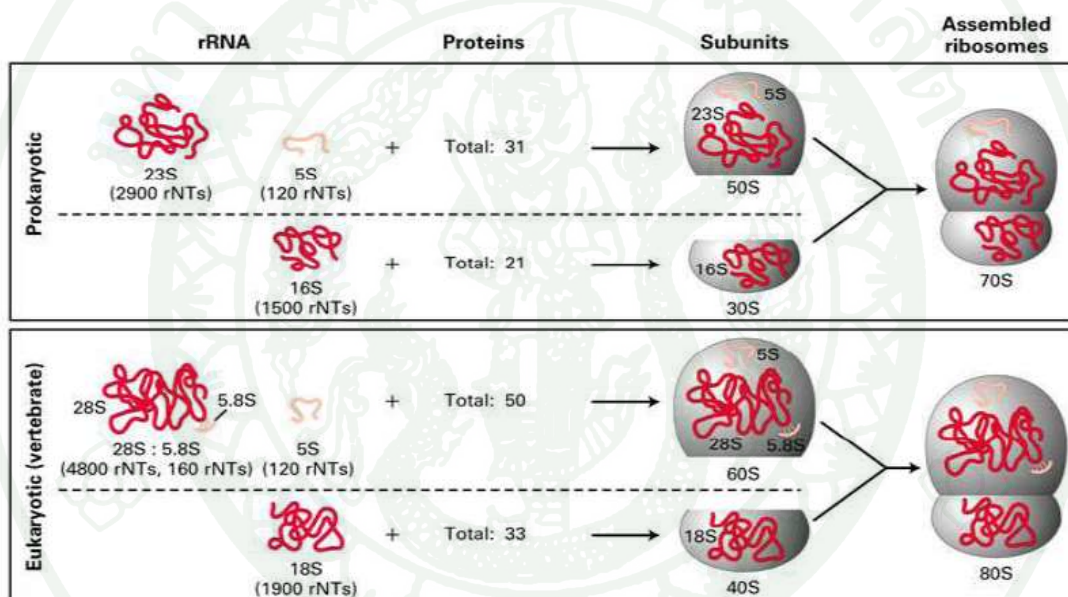
ไพรีน และคณะ (2553) ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในบึงบอระเพ็ด จังหวัด นครสวรรค์ ช่วงเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม 2553 พบสาหร่าย 6 หมวด 55 สกุล หมวด Chlorophyta มีจำนวนสกุลพบมากที่สุด 24 สกุล กลุ่ม Cyanophyta รองลงมาพบ 13 สกุล หมวด Bacillariophyta มี 12 สกุล หมวด Euglenophyta พบ 4 สกุล หมวด Pyrrophyta มี 1 สกุล และ หมวด Chrysophyta มี 1 สกุล โดยระบุถึงสายพันธุ์ *Anabaena* sp. เป็นกลุ่มหลัก ซึ่งต่างจากแหล่งน้ำอื่น ๆ ที่ระบุถึง *Microcystis aeruginosa* เป็นกลุ่มหลัก สำหรับค่าคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำพบว่าน้ำในบึงบอระเพ็ด เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยประเภทที่ 2

การศึกษาด้านความหลากหลายทางอณูชีววิทยา (Molecular Diversity)

การศึกษาคความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตจากสิ่งแวดล้อมนั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก ซึ่งสิ่งมีชีวิตหรือแบคทีเรียบางชนิดไม่สามารถเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโตได้ดีในห้องปฏิบัติการ การใช้เทคนิคทางด้านอณูชีววิทยาด้วยการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถศึกษาได้โดยไม่ต้องทำการเพาะเลี้ยง ทำให้การศึกษานุกรมวิธานของสิ่งมีชีวิตมีประสิทธิภาพและครอบคลุมชนิดในธรรมชาติที่มีอยู่จริงได้มากที่สุด (Amann *et al.*, 1995)

สาหร่ายมีความหลากหลายทางพันธุกรรมอย่างมาก โดยสาหร่ายที่เป็นยูคาริโอต โครโมโซมของสาหร่ายขนาดเล็กจะมีตั้งแต่ 5 ถึง 48 แท่ง สามารถพบสารพันธุกรรมได้ 3 บริเวณ คือ นิวเคลียส ไมโทครอนเดียมและไซโตพลาสต์ ในนิวเคลียสสามารถพบสารพันธุกรรมในรูปของโครมาตินหรือโครโมโซม โดยเป็นส่วนของสาร DNA ที่มีโปรตีนฮิสโตน (histone protein) ห่อหุ้มโดยรอบ ส่วนในไมโทครอนเดียมและไซโตพลาสต์เป็น DNA ที่ต่อกันเป็นวงแหวนและไม่มีโปรตีนฮิสโตน สาหร่ายที่เป็นยูคาริโอตมีไรโบโซมขนาด 80S ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วย คือ หน่วยขนาดใหญ่ 60S (large subunit) และหน่วยขนาดเล็กขนาด 40S (small subunit) (ภาพที่ 5) วิธีทางอณูชีววิทยาที่เหมาะสมในการจัดจำแนกและหาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสาหร่ายที่เป็นยูคาริโอต คือ การหาลำดับเบสของนิวคลีโอไทด์ในส่วนของ Ribosomal RNA gene ในบริเวณ 18S และ Internal transcribed spacer region (ITS) ซึ่งสามารถหาข้อมูลในการเทียบเคียงได้จาก GenBank (Graham and Wilcox, 2000)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นโพรคาริโอต ซึ่งจะมีลักษณะทางพันธุกรรมคล้ายแบคทีเรีย โดยมีสารพันธุกรรมเป็น DNA ที่ต่อกันเป็นวงแหวนแขวนลอยอยู่ในไซโตพลาซึม ไม่มีโปรตีนฮิสโตน มีจำนวน DNA 1 ชุด ต่อเซลล์ และมีไรโบโซมขนาด 70S ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อย 2 หน่วย คือ หน่วยขนาดใหญ่ 50S (large subunit) และหน่วยขนาดเล็กขนาด 30S (small subunit) (ภาพที่ 5) วิธีทางอณูชีววิทยาที่เหมาะสมในการจัดจำแนกและหาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสาหร่ายที่เป็นโพรคาริโอต คือการหาลำดับเบสของนิวคลีโอไทด์ในส่วนของ Ribosomal RNA gene ในบริเวณลำดับเบสของยีน 16S rRNA (Amann *et al.*, 1995)



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของไรโบโซมของโพรคาริโอตและยูคาริโอต

ที่มา: Madigan and Martincó (2006)

rRNA เหมาะสำหรับนำมาศึกษาเนื่องจากไรโบโซมเป็นออร์แกเนลล์ที่มีอยู่ในจุลินทรีย์ทุกชนิดมีหน้าที่ที่แน่นอนในสิ่งมีชีวิต โดยมีการผลิตโปรตีนชนิดเดิมเสมอเพื่อความอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในแต่ละช่วงวิวัฒนาการ โดยมีการอนุรักษ์ในระดับที่เหมาะสมทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าโครงสร้างนี้มีหน้าที่ที่แน่นอนและมีความสำคัญต่อเซลล์ rRNA ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่จำเพาะแน่นอนจึงสามารถนำมาใช้สำหรับ

เปรียบเทียบความเหมือนหรือความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต (Madigan and Martinco, 2006) โดยนิยมเลือก 16S rRNA gene มาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจาก 5S rRNA gene มีลำดับนิวคลีโอไทด์เพียง 120 นิวคลีโอไทด์ ซึ่งมีข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่น้อย เมื่อเทียบกับ 16S rRNA gene ที่มี 1500 นิวคลีโอไทด์ส่วน 23S rRNA มี 2900 นิวคลีโอไทด์ ซึ่งมีข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มากและเป็นส่วนที่ตีแตกในทางปฏิบัติและการวิเคราะห์นั้นทำได้ยากกว่า รวมทั้ง 16S rRNA gene มีส่วนของบริเวณอนุรักษ์และความผันแปรเพียงพอสำหรับจัดกลุ่มหรือบอกความสัมพันธ์ ซึ่งหากยีนมีความผันแปรสูง นั่นคือมีวิวัฒนาการสูงจะทำให้ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์สูญหายไปและไม่สามารถทำการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับนิวคลีโอไทด์ (alignment) (Madigan and Martinco, 2006)

การจำแนกสายพันธุ์โดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา โดยการตรวจสอบลำดับเบสในสายดีเอ็นเอ (DNA fingerprinting) โดยเริ่มจากเทคนิคการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ เทคนิคที่สำคัญที่ใช้เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อวิเคราะห์ลำดับเบสหรือใช้ศึกษาเป็นลายพิมพ์ดีเอ็นเอคือ เทคนิคพีซีอาร์ (Polymerase Chain Reaction, PCR) ซึ่งใช้เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในหลอดทดลองโดยเครื่อง Thermal cycler ในตำแหน่งของยีนหรือดีเอ็นเอช่วงที่ต้องการศึกษาในจีโนม และทำการตรวจสอบลายพิมพ์ดีเอ็นเอจากลำดับด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE), Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP), Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP), Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) และการศึกษาลายพิมพ์ดีเอ็นเอจากลำดับเบสซ้ำต่อเนื่องช่วงสั้นและยาว (short and long tandem repeat repetitive sequences; STRR and LTRR)

เทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายเฉพาะส่วนอย่างเจาะจงภายในหลอดทดลอง โดยการเลียนแบบการสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต (Rolf *et al.*, 1992) เทคนิคนี้ทำให้ดีเอ็นเอเป้าหมายซึ่งอยู่ร่วมกับดีเอ็นเออื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อมสามารถเพิ่มจำนวนได้ โดยไม่ต้องทำให้ดีเอ็นเอบริสุทธิ์ก่อน สามารถวิเคราะห์หรือตัดแยกชิ้นดีเอ็นเอที่สนใจได้โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณในเซลล์สิ่งมีชีวิต หรือนำมาเพิ่มจำนวนก่อน (cloning) การทำ PCR เป็นการสังเคราะห์ดีเอ็นเอโดยใช้เอนไซม์โพลีเมอเรส (polymerase) ซ้ำกันหลาย ๆ รอบเพื่อเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป็นทวีคูณ การสังเคราะห์ดีเอ็นเอจะเกิดขึ้นได้ต้องทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนหรือชิ้นดีเอ็นเอที่สนใจแล้วจึงสังเคราะห์ oligonucleotide สายสั้น ๆ 2 ชนิด ที่มีคู่เบสเข้ากับปลายทั้ง 2 ด้านของดีเอ็นเอบริเวณที่ต้องการเพื่อใช้เป็นไพรเมอร์ในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ ขั้นตอนในการทำ PCR เริ่มจากสกัดดีเอ็นเอออกจากเซลล์ (genomic DNA)

นำมาใส่รวมกับไพริเมอร์ บัฟเฟอร์ ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไซด์ไตรฟอสเฟต (deoxyribonucleoside triphosphate; dNTPs) ทั้ง 4 ชนิด และเอนไซม์ DNA polymerase โดยปกติบัฟเฟอร์ของปฏิกิริยา PCR จะประกอบด้วย Mg^{2+} , monovalent cation และ co-solvent บางตัว ซึ่งช่วยให้เอนไซม์คงตัว การสังเคราะห์ DNA สายใหม่โดยกระบวนการ PCR ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (ภาพที่ 6)

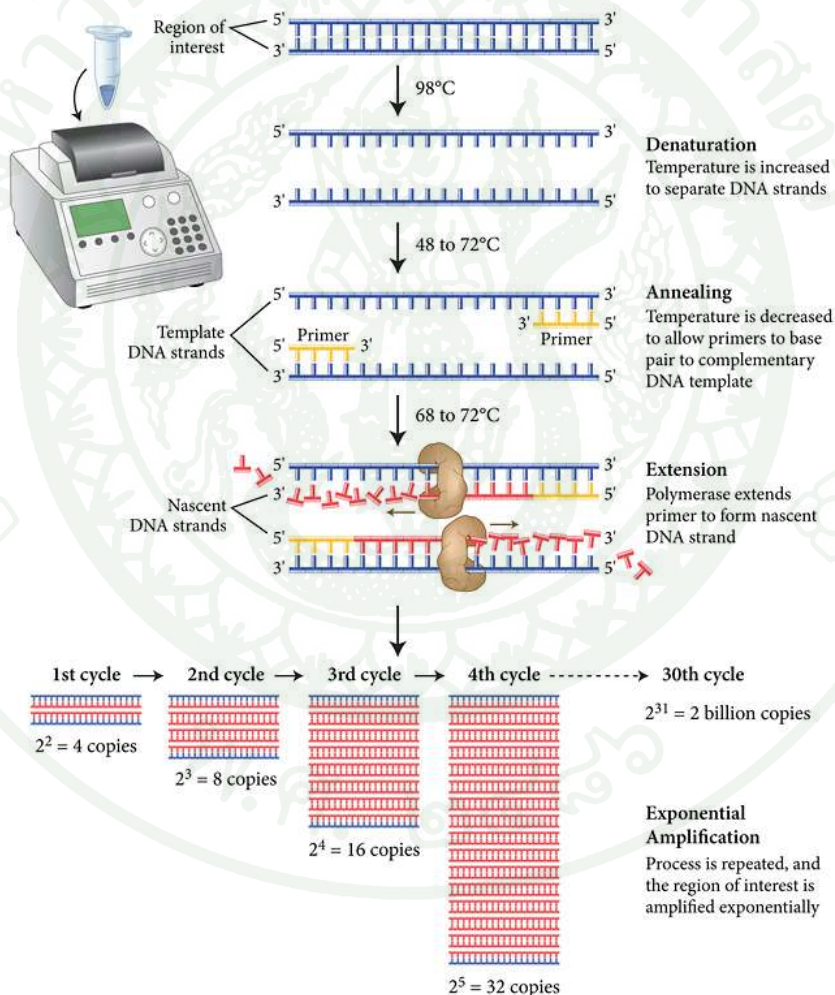
ขั้นตอนที่ 1 การแยกสายดีเอ็นเอแม่แบบ (denaturation) โดยใช้ความร้อน (อุณหภูมิประมาณ 94 ถึง 97 องศาเซลเซียส) ทำให้ดีเอ็นเอต้นแบบคลายเกลียวคู่ออกจากกันแยกเป็นสายเดี่ยว เพื่อทำหน้าที่เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ

ขั้นตอนที่ 2 การจับของสายไพริเมอร์ (primer annealing) เป็นขั้นตอนการให้ไพริเมอร์เข้าไปจับกับดีเอ็นเอแม่พิมพ์ตรงตำแหน่งที่เป็น complementary กัน โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 45 ถึง 65 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 3 การสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่โดยการต่อสายไพริเมอร์ (primer extension) โดยใช้อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เวลาขึ้นอยู่กับความยาวของสายดีเอ็นเอที่ต้องการเพิ่มจำนวน ซึ่งในขั้นตอนนี้ DNA polymerase จะทำหน้าที่นำเบส (A, T, C, G) ที่เข้าคู่กับดีเอ็นเอแม่แบบมาต่อเข้าที่ปลายด้าน 3' ของสายไพริเมอร์ทั้งสองเพื่อให้ได้ดีเอ็นเอสายใหม่ การสังเคราะห์จะดำเนินไปทั้ง 3 ขั้นตอน ซ้ำกันเป็นจำนวน 20 ถึง 30 รอบ ซึ่งจำนวนสายดีเอ็นเอที่ได้จะเป็นไปตามสูตร $(2^n) \times X$ เมื่อ n คือ จำนวนรอบที่ใช้ในการสังเคราะห์ และ X คือ จำนวนสายของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการเริ่มต้น

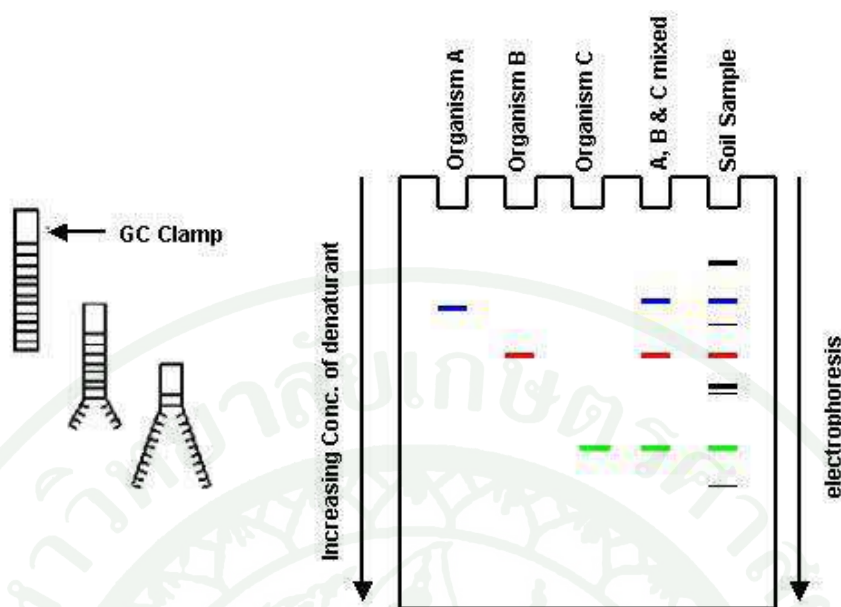
เทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนามาเพื่อทำการศึกษาลำดับเบสในดีเอ็นเอเป้าหมาย การตรวจวัดด้วยวิธีนี้ใช้ควบคู่ไปกับการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอเป้าหมายโดยใช้เทคนิคพหุวัฏจักร (Polymerase Chain Reaction, PCR) โดยการใช้ไพริเมอร์ที่มีการเติมปลายทางด้านใดด้านหนึ่งด้วย GC-clamp (Muyzer *et al.*, 1993) ปกติมักใช้กับ marker genes การเพิ่มเบส GC ประมาณ 30 ถึง 50 นิวคลีโอไทด์ (Muyzer *et al.*, 1993) ที่ปลายสาย 5' ของไพริเมอร์ที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ เพื่อทำหน้าที่เป็น high melting domain บนสายดีเอ็นเอ ทำให้ไม่แยกจากกันเป็นสายเดี่ยวเมื่อเคลื่อนที่บนเจล DGGE ในการทำ DGGE ดีเอ็นเอเป้าหมายจะถูกทำให้เสียสภาพและเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยสารเคมี ดีเอ็นเอที่มีลำดับเบสต่างกันจะเสื่อมสภาพที่ความเข้มข้นของสารเคมีแตกต่างกัน ซึ่งตรวจสอบความแตกต่างดังกล่าวโดยการทำ gel electrophoresis (Ward and Bora, 2004)

รูปแบบการเคลื่อนที่ของแถบดีเอ็นเอบนเจล acrylamide อาศัยปริมาณคู่เบส GC ที่แตกต่างกันบนสายดีเอ็นเอเป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่ในความเข้มข้นของสาร denaturant ที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมหรือการแยก (melting temperature) จะแตกต่างกันไปตามลำดับและชนิดของเบส นั่นคือสายดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่บนเจลต่างกัน (ภาพที่ 7) การตรวจสอบชนิดของจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยการแยกชิ้นดีเอ็นเอจาก gel electrophoresis ไปวิเคราะห์หาลำดับเบส จากนั้นตรวจสอบลำดับเบสและหาความคล้ายคลึงกันของลำดับเบสที่ได้กับลำดับเบสของดีเอ็นเอที่มีอยู่ในฐานข้อมูลสากล



ภาพที่ 6 ขั้นตอนกระบวนการของเทคนิค PCR

ที่มา: Anonymous (2014)



ภาพที่ 7 การเคลื่อนที่บนเจล acrylamide ของแถบดีเอ็นเอจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับดีเอ็นเอจากเชื้อมาตรฐานในการทำ DGGE

ที่มา: Ward and Bora (2004)

Otsuka *et al.* (1998) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ทางไฟโลเจเนติกของ 16S rDNA ในไซยาโนแบคทีเรียที่เรียกลุ่ม *Microcystis* จำนวน 15 สายพันธุ์ จาก 5 morphospecies ในจำนวนนี้มี 2 สายพันธุ์ที่แยกได้จากประเทศไทย จากการเปรียบเทียบลำดับเบสของ 16S rDNA ที่ได้พบว่ามีความเหมือนกันสูงสุดระหว่าง 99.3 ถึง 100% และจากแผนภูมิความสัมพันธ์ทางไฟโลเจเนติก *Microcystis* ทั้งสองสายพันธุ์จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและมีค่าสนับสนุนทางสถิติ (bootstrap) คล้ายคลึงกันมากถึง 100% และในเวลาต่อมาได้ทำการศึกษา DNA-DNA hybridization เพิ่มเติมใน *Microcystis* 6 สายพันธุ์ จาก 5 morphospecies คณะผู้วิจัยจึงเสนอให้รวมเอา *Microcystis* ทั้ง 5 สปีชีส์ เป็น *Microcystis aeruginosa*

Rinta *et al.* (2005) ทำการศึกษาปริมาณและชนิดของ *Microcystis* ในทางตะวันออกของทะเลสาบ Erie วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Quantitative real-time PCR เปรียบเทียบลำดับเบสของ 16S rDNA โดยใช้ primer-Taq-man probe ที่เจาะจงเฉพาะกับ *Microcystis* และวิเคราะห์สารพิษจาก gene mcyD ผลการศึกษาได้ข้อสรุปว่า แหล่งที่มาของ *Microcystis* มาจากแม่น้ำ Maumee และ Bay

Ye *et al.* (2011) ทำการศึกษาปริมาณและสายพันธุ์ของไซยาโนแบคทีเรียในแหล่งน้ำและตะกอนดินของทะเลสาบ Taihu วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Quantitative real-time PCR และ DGGE เปรียบเทียบลำดับเบส ของ 16S rDNA จากการวิเคราะห์พบว่า ไซยาโนแบคทีเรียสายพันธุ์ *Microcystis* และ *Synechococcus* เป็นชนิดเด่นที่พบมากที่สุดในช่วงเวลาการเกิดการแพร่กระจายคือในเดือนมิถุนายนถึงกันยายน

การศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลในเชิงสถิติ

สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์ ซึ่งทางสถิติมีอยู่หลายวิธี การใช้ค่าทางสถิติค่าใดขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัด (measurement scales) ในตัวแปรนั้น ๆ ในการวัดความสัมพันธ์แต่ละแบบจะต้องมีการทดสอบนัยสำคัญก่อน จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง การแปรผันร่วมกันหรือไปด้วยกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์ R แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่ม การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle, 1998)

ค่า R ในช่วงต่าง ๆ ถูกใช้เป็นตัวกำหนดถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

0.90 ถึง 1.00	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก
0.70 ถึง 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 ถึง 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 ถึง 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 ถึง 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์เมื่อ R มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งมีค่าสูงไปด้วย) R มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งมีค่าต่ำ)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้ได้อย่างเหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นเท่านั้น ดังนั้นในการคำนวณ หากพบว่า $R = 0$ สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้น แต่อาจมีความสัมพันธ์กันในลักษณะอื่น

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นการศึกษาและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ X (independent variable เรียกว่า ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรทำนาย) และตัวแปรตาม Y (dependent variable เรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง) แล้วนำมาสร้างเป็นสมการ

แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างง่าย ดังสมการที่ (6)

$$Y = a + bX \quad (6)$$

จากการพล็อตกราฟค่า X และ Y จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และแบบจำลองความสัมพันธ์ (สมการทำนาย) ในการคัดเลือกสมการถดถอยที่ได้เพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEest) โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้ มีค่าสูง บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูง และสามารถอธิบายการผันแปรของ Y ได้ดี เพื่อให้การพยากรณ์หรือทำนายมีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งแบบจำลองความสัมพันธ์(สมการ) นำมาใช้ในการใช้พยากรณ์ค่า X และ Y

การทดสอบสมมติฐาน (hypothesis testing)

การทดสอบสมมติฐานทำขึ้นเพื่อให้ทราบว่าพารามิเตอร์มีค่าแตกต่างกับค่าที่สนใจหรือไม่ โดยกรณีทดสอบความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงจะทำการทดสอบค่าความความชัน (b) เทียบกับค่าศูนย์ โดยหาค่าคงที่ (intercept) และค่าสัมประสิทธิ์ (coefficients) ของข้อมูล และทำการทดสอบสมมติฐาน หากไม่ significance จะถือว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง การทดสอบสมมติฐานจะใช้การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (two - tailed) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การตั้งสมมติฐาน

สมมติฐานหลัก (H_0) : $b = 0$ (X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน)

สมมติฐานรอง (H_1) : $b \neq 0$ (X และ Y มีความสัมพันธ์กัน)

การทดสอบสมมติฐานเป็นการเทียบค่า b เท่ากับค่า 0 ซึ่งเป็นการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงหรือไม่ หากปฏิเสธสมมติฐานแสดงว่าทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงหรือสามารถกล่าวอีกแบบหนึ่งได้ว่าตัวแปร X สามารถอธิบายความแปรผันของตัวแปร Y ได้

2. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

การกำหนดระดับนัยสำคัญเป็นการกำหนดโอกาสในการตัดสินใจ โดยส่วนมากกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

3. ค่าทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจ

3.1 ค่าสถิติ t โดยการเทียบค่าสถิติ $|t|$ ที่คำนวณได้เทียบกับค่าวิกฤต (critical value) ซึ่งได้จากการอ่านตาราง แล้วทำการตัดสินใจ หากค่า $|t|$ น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤตจะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หากมากกว่าจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง (H_1)

3.2 ค่าสถิติ F เป็นการทดสอบเช่นเดียวกับ t เมื่อค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า F จากตาราง จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แต่หากค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า F จากตารางแล้ว จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า X สามารถอธิบายตัวแปร Y ได้ดี ผลจากการทดสอบค่า F จะสอดคล้องกับการทดสอบค่า t แต่ในทางค่าสถิติ t สามารถทดสอบได้สองหาง (two - tailed) หรือหางเดียว (one - tailed) ก็ได้ ในขณะที่ค่า F ทดสอบได้เฉพาะสองหางเท่านั้น

3.3 ค่า p-value คือค่าความน่าจะเป็นที่ได้ค่าสถิติภายใต้สมมติฐานหลัก ในการตัดสินใจสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า p-value กับระดับนัยสำคัญ (α) หาก $p\text{-value} < \alpha$ แล้ว จะปฏิเสธสมมติฐานหลักและหาก $p\text{-value} > \alpha$ จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

ข้อมูลอ่างเก็บน้ำบางพระ

อ่างเก็บน้ำบางพระ เดิมเป็นที่ดินกรรมสิทธิ์ของกรมชลประทาน ซึ่งได้เวนคืนจากรายครัว เพื่อสร้างขยายอ่างเก็บน้ำบางพระ เมื่อปี พ.ศ. 2515 ภายหลังจากการสร้างขยายเขื่อนเสร็จในปี พ.ศ. 2518 ได้กักเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการอุตสาหกรรม และทำประปาเพื่อการบริโภค สามารถเก็บกักน้ำได้ถึง 110 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ทั้งหมดของโครงการ 8500 ไร่ ส่วนพื้นที่ชลประทาน เป็น 6100 ไร่ ระบบนิเวศวิทยาจึงเปลี่ยนแปลงไปตามระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้มีนกน้ำนานาชนิดเข้าไปหากินและอาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำบางพระ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงได้ประกาศจัดตั้งเป็นเขตห้ามล่าสัตว์ป่า เมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2519 และประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 93 ตอนที่ 82 ลงวันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2519 (ราชกิจจานุเบกษา, 2519)

1. ข้อมูลทั่วไปของอ่างเก็บน้ำบางพระ

ภาค	ตะวันออก
โครงการ	ชลประทานชลบุรี
พิกัด	Lat 100° 58' 0"
	Long 100° 12' 28"
	UTM (E) 0713015
	UTM (N) 1461428
	Zone 47 PQQ 130614

SHEET 5135 II

SERIES 1:50000

คู่มน้ำ-รหัส	คู่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก รหัส 18
แม่น้ำ-รหัส	คู่มน้ำชลบุรี รหัส 18.01
เริ่มก่อสร้าง - เสร็จปี	พ.ศ. 2514 ถึง 2518
ประเภทเขื่อน	เขื่อนดิน
สูง	24.00 ม.
ระดับสันเขื่อน	+31.50 ม. (รทก.)
ความยาวสันเขื่อน	1720.00 ม.
ความกว้างสันเขื่อน	8.00 ม.
ความกว้างฐานเขื่อน	130.00 ม.
ปริมาตรเขื่อน	2,008,200 ลบ.ม.
พื้นที่รับน้ำฝน	130.00 ตร.กม.
ความยาวลำน้ำ	17.00 กม.
ปริมาณฝนเฉลี่ย	1200 มม./ปี
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักปกติ	14.00 ตร.กม.
ปริมาณน้ำไหลลงอ่างรายปี	
สูงสุด	110.67 ล้าน ลบ.ม.
เฉลี่ย	41.50 ล้าน ลบ.ม.
ต่ำสุด	19.96 ล้าน ลบ.ม.
ปริมาณน้ำนองสูงสุดออกแบบไหลลงเขื่อน	185 ลบ.ม./วินาที
รอบ	80 ปี
ระดับน้ำสูงสุด	36.60 ม.(รทก.)
ระดับกักเก็บปกติ	30.00 ม.(รทก.)
ระดับน้ำต่ำสุด	20.00 ม.(รทก.)
ปริมาตรน้ำที่ใช้การได้	95.00 ล้าน ลบ.ม.

2. ภูมิประเทศและภูมิอากาศ

อ่างเก็บน้ำบางพระมีต้นกำเนิดของแหล่งน้ำจากเทือกเขาเจ็ญ โดยเป็นที่รวมของลำห้วยต่าง ๆ คือ กุ่ม กรู กรวด โกรกลึกและแนวคลองส่งน้ำจากหนองค้อ ซึ่งมีต้นน้ำมาจากเขาบ่อขางเขาใหญ่ และเขากวาง บริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำบางพระ มีความสูงจากระดับน้ำทะเล ระหว่าง 12 ถึง 35 เมตร บริเวณรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำมีราษฎรปลูกอ้อยและมันสำปะหลังจนถึงตีนเขาเจ็ญ เนื่องจากบริเวณรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นพื้นที่โล่ง จึงทำให้อุณหภูมิค่อนข้างสูงทั้งสามฤดู

3. ทรัพยากรป่าไม้

สภาพเป็นสวนป่าที่ปลูกขึ้นมาใหม่ ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ จามจุรี กระถินณรงค์ ยูคาลิปตัส นนทรี ตะเคียนทอง ยางนา ลีเสียด สักและประดู่ เป็นต้น ทรัพยากรสัตว์ป่า มีชนิดสัตว์จำพวกนกมีมากกว่า 130 ชนิด เนื่องจากบริเวณรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำเป็นสวนป่าซึ่งมีลักษณะ เป็นป่าละเมาะรุ่มรื่น จึงเป็นที่อยู่อาศัยของนกกระรอกหัวหงอก นกกระรอกหัวขวาน นกบั้ง รอก กระรอก กระแต กวางป่า ชะมด ลิงลม เต่าปลา กระต่าย อีเห็น ค้างคาว ฯลฯ ภายในอ่างเก็บน้ำ มีนกสำคัญ ๆ มากากิน เช่น นกกาบบัว นกกระทงและนกกะสา เป็นต้น

4. ลักษณะชุมชนในพื้นที่

เขตห้ามล่าสัตว์ป่าของอ่างเก็บน้ำบางพระ มีความหลากหลายทางชีวภาพ มีระบบนิเวศ 3 ระบบ ได้แก่ พื้นที่ชุ่มน้ำเฉลี่ยประมาณ 70 ถึง 75% พุ่มหญ้าประมาณ 10 ถึง 15% และป่าละเมาะประมาณ 10 ถึง 15% แล้วแต่ฤดูกาล ปัจจุบันมีนักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไปจำนวนมาก มาขอใช้สถานที่แห่งนี้เพื่อประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเดินป่าศึกษาธรรมชาติ ปลูกต้นไม้ ดูนก และศึกษาระบบนิเวศน์ รวมถึงเป็นสถานที่ท่องเที่ยวและพักผ่อน อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับชุมชนในพื้นที่ อัตราการใช้เฉลี่ยในปี พ.ศ. 2555 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำบางพระปี พ.ศ. 2555

ลำดับ ที่	ผู้ใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ		หมายเหตุ
		ต่อวัน (ลบ.ม.)	ต่อปี (ล้าน ลบ.ม.)	
1	สำนักงานการประปา ชลบุรี	71,000	25.92	พื้นที่จ่ายน้ำตามแนวสุขุมวิท จากสะพานข้ามแม่น้ำบางประก งถึงอำเภอศรีราชา และ บางส่วนของเขตอำเภอบางประก ง อำเภอพานทอง อำเภอพนัส นิคม อำเภอบ้านบึง
2	โรงไฟฟ้าบางประกง	13,700	5.00	
3	บริษัทไทยออยล์จำกัด	8,200	3.00	
4	พื้นที่การเกษตรทำอย่างฯ		2.00	
	รวม		35.92	6,100 ไร่

ที่มา : โครงการชลประทานชลบุรี (2555)

5. ปัญหาของการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ

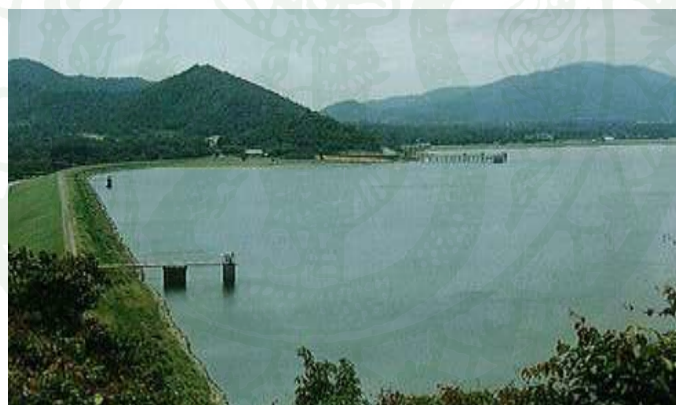
อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นอ่างน้ำที่ประสบปัญหาการแพร่กระจายของสาหร่าย โดยพบเกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2527 มีการแพร่กระจายและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในปริมาณมากทำให้ลอยเต็มผิวน้ำ พอบางส่วนตายลงจะส่งกลิ่นเหม็นไปทั่วอ่าง และทำให้คุณภาพน้ำลดลง สีและกลิ่นเปลี่ยนแปลงไป เป็นอุปสรรคต่อการอุปโภคบริโภคอย่างมาก (ศิริพร และคณะ, 2552)

การศึกษาแหล่งต้นน้ำและคุณภาพน้ำของอ่างเก็บน้ำบางพระ พบว่าอ่างเก็บน้ำมีความอุดมสมบูรณ์สูง ค่าคลอโรฟิลล์ เอ เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร มีปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการสูง แต่พบค่าของไนโตรเจนที่ปริมาณน้อย (มานพ และคณะ, 2536) ความหลากหลายของสาหร่ายพบว่ากลุ่มไซยาโนแบคทีเรียเป็นกลุ่มหลัก อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นแหล่งน้ำแห่งหนึ่งที่มีการระบุถึง *Microcystis aeruginosa* ในปริมาณที่มากที่สุด (วิเชียร และคณะ, 2544)

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำบางพระของการประปาส่วนภูมิภาค ที่รายงานว่า พบสาหร่ายสายพันธุ์ *Microcystis aeruginosa* เป็นสายพันธุ์หลักที่มักสร้างปัญหาให้กับระบบผลิตน้ำประปา โดยพบปริมาณสูงถึง 68,400 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

จากการตรวจติดตามสถานะยูโทรฟิเคชันในอ่างเก็บน้ำบางพระพบว่าปริมาณของแพลงก์ตอนมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยมีปริมาณต่ำสุดในช่วงเดือนมีนาคม และมากสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งอยู่ในช่วงปลายฝนถึงต้นหนาว โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบมากที่สุด ชนิดเด่นที่พบคือ *Microcystis aeruginosa*, *M.wesenbergii* และ *Anabaena affinis* พบไดอะตอมรองลงมา ชนิดเด่นคือ *Aulacoseira granulate* (ศิริพร และคณะ, 2550)

ภาพถ่ายลักษณะของอ่างเก็บน้ำบางพระและพื้นที่โดยรอบ แสดงในภาพที่ 8 แผนที่อ่างเก็บน้ำแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายอ่างเก็บน้ำบางพระ



ภาพที่ 9 แผนที่อ่างเก็บน้ำบางพระ

ที่มา: Anonymous (2013)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำภาคสนาม

- 1.1 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำพลาสติก (HDPE) ขนาด 1 ลิตร
- 1.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำตามความลึก (kemmerer) ขนาด 1 ลิตร
- 1.3 อุปกรณ์วัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยแอปพลิเคชัน Here Am I 2 (Code sector)

2. อุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำ

- 2.1 เครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum pump)
- 2.2 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น GR3000 ยี่ห้อ AND
- 2.3 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น GR200 ยี่ห้อ AND
- 2.4 เครื่องวัดความขุ่น (turbidity meter) รุ่น 2100AN ยี่ห้อ HACH
- 2.5 เครื่องวัดสภาพน้ำไฟฟ้า (conductivity meter) รุ่น 160 ยี่ห้อ ORION
- 2.6 เครื่องบดเนื้อเยื่อ (tissue grinder)
- 2.8 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น Z 383 K ยี่ห้อ HERMLE
- 2.9 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) รุ่น DR5000 ยี่ห้อ HACH
- 2.10 เตาอบแห้ง 105 องศาเซลเซียส (dry oven) รุ่น DRA430DA ยี่ห้อ ADANTEC
- 2.11 ตู้แช่ 4 องศาเซลเซียส
- 2.12 ตู้ดูดความชื้น (desiccator)
- 2.13 หลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตร
- 2.14 DO meter รุ่น Oxi 330i ยี่ห้อ WTW
- 2.15 pH meter (pen type) รุ่น 8685 ยี่ห้อ AZ

3. อุปกรณ์สำหรับจำแนกชนิดสาหร่าย

- 3.1 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

4. อุปกรณ์สำหรับเทคนิคทางอณูชีววิทยา

- 4.1 เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) รุ่น PowerPac™ Basic ยี่ห้อ Bio rad
- 4.2 เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA รุ่น Light Cycler Nano ยี่ห้อ Roche
- 4.3 เครื่องบ่ม (elite dry bath incubator) รุ่น EL-01 ยี่ห้อ Major science
- 4.4 เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น 1-4 ยี่ห้อ Sartorius
- 4.5 เครื่องผสม (vortex mixer) รุ่น VM-10 ยี่ห้อ Wisd
- 4.6 เครื่องให้กำเนิดแสง UV (UV transilluminator) รุ่น ECX-20 ยี่ห้อ Vilber Lourmat
- 4.7 เครื่องวิเคราะห์ลำดับเบส รุ่น Applied Biosystems 3730XL ยี่ห้อ HITACHI (บริษัท

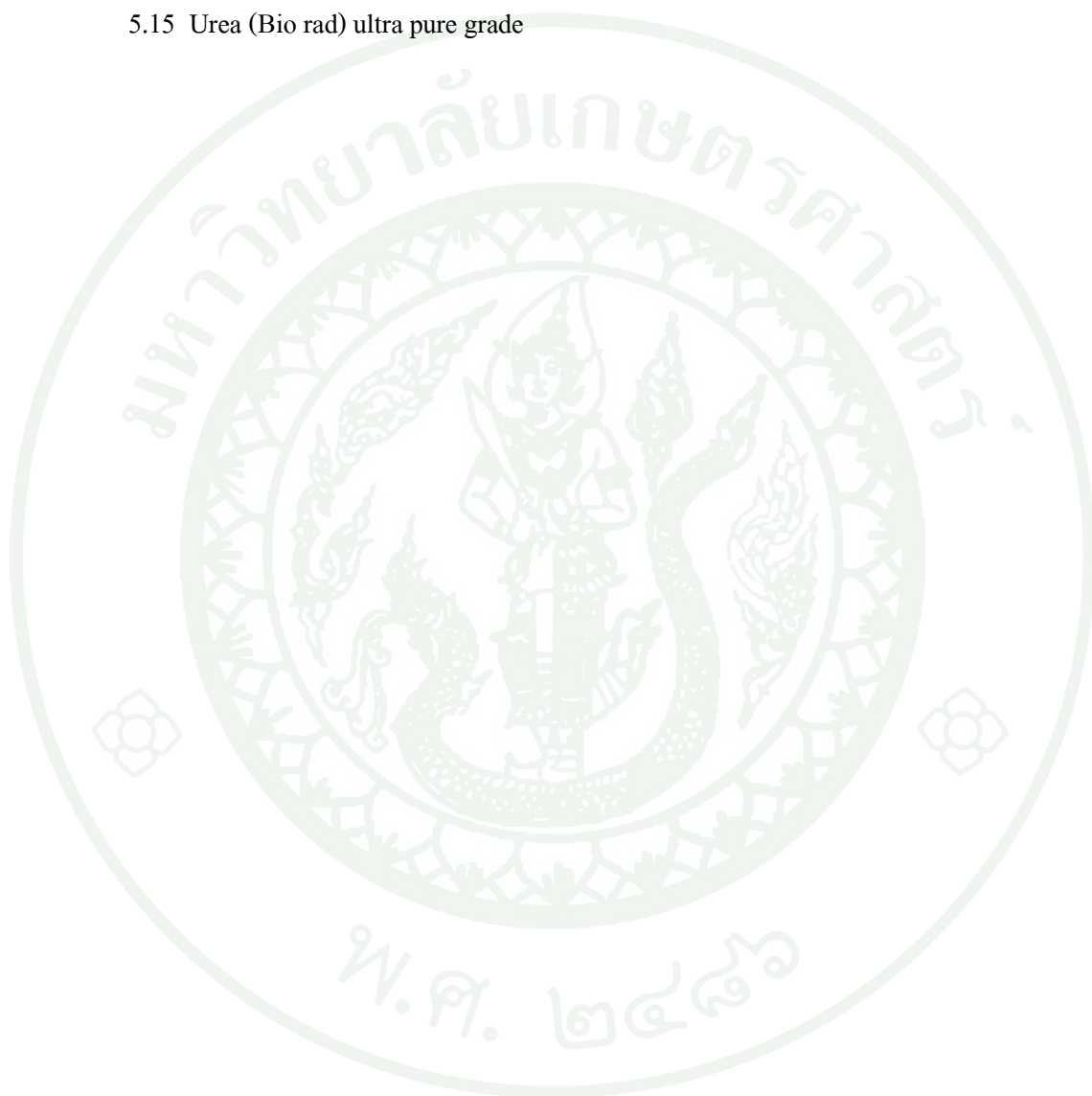
Solgent ประเทศเกาหลีใต้)

- 4.8 ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น DCode™ system ยี่ห้อ Bio rad
- 4.9 ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น Mini-Sub cell GT ยี่ห้อ Bio rad
- 4.10 ตู้แช่อุณหภูมิต่ำ -20 องศาเซลเซียส
- 4.11 หลอด microcentrifuge ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
- 4.12 หลอด PCR 0.2 มิลลิลิตร
- 4.13 Adjustable automatic pipettes ขนาด 10, 200, 1000 ไมโครลิตร
- 4.14 Pipette Tip ขนาด 10, 200, 1000 ไมโครลิตร

5. สารเคมี

- 5.1 ชุด FastStart essential DNA green master (Roche)
- 5.2 ชุดสกัด Genomic DNA extraction mini kit (RBC Bioscience)
- 5.3 16S rRNA primer (Sigma aldrich)
- 5.4 50x TAE buffer (Bio rad) ultra pure grade
- 5.5 Acrylamide/Bis 37.5:1 (Bio rad) ultra pure grade
- 5.6 Agarose (SERVA) research grade
- 5.7 Ammonium persulfate (Bio rad) ultra pure grade
- 5.8 DCode™ 2X Loading dye (Bio rad) ultra pure grade
- 5.9 DCode™ kit dye solution (Bio rad) ultra pure grade
- 5.10 Ethidium bromide (Bio rad) ultra pure grade

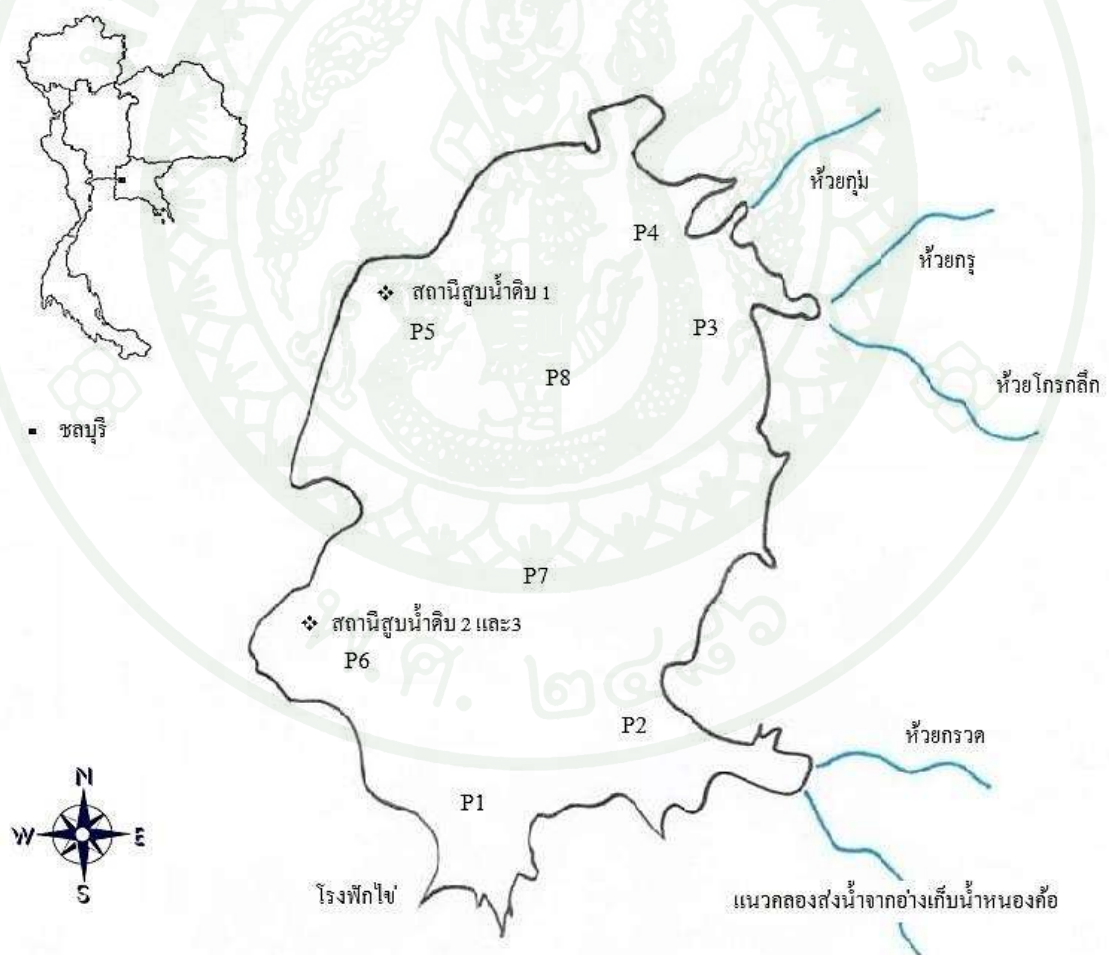
- 5.11 Formaldehyd 40%
- 5.12 Formamide (Bio rad) ultra pure grade
- 5.13 Sterile water (Multicell) molecular grade
- 5.14 TEMED (Bio rad) ultra pure grade
- 5.15 Urea (Bio rad) ultra pure grade



วิธีการ

1. การเลือกพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง

เลือกทำการศึกษาในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี กำหนดจุดเก็บน้ำตัวอย่างกระจายทั่วบริเวณอ่างเก็บน้ำ 8 จุด ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยเลือกบริเวณให้ครอบคลุมที่สำคัญ คือ บริเวณทางเข้าของลำห้วยและบริเวณสถานีสูบน้ำดิบ จากจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนด ทำการหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยแอปพลิเคชัน Here Am I 2 (Code sector) และทำการแปลงค่าพิกัด latitude-longitude ไปเป็น UTM ด้วยโปรแกรม Converter Geo2 UTM (แบบ Portable) ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 10 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ อ่างบางพระ จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 4 แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 8 จุด

Point	Point (Universal Transverse Mercator (UTM))	
	X	Y
P1	713987	1459108
P2	714506	1459453
P3	715091	1461935
P4	714863	1462470
P5	713370	1461949
P6	712772	1459874
P7	713914	1460178
P8	714236	1461817

รายละเอียดของจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

- จุดเก็บที่ 1 (P1) บริเวณปากแม่น้ำใกล้โรงฟักไข่
 จุดเก็บที่ 2 (P2) บริเวณปากแม่น้ำของคลองส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำหนองค้อ
 จุดเก็บที่ 3 (P3) บริเวณปากแม่น้ำของห้วยกรูและโกรกลีค
 จุดเก็บที่ 4 (P4) บริเวณปากแม่น้ำของห้วยกุ่ม
 จุดเก็บที่ 5 (P5) บริเวณสถานีโรงสูบน้ำดิบ 1
 จุดเก็บที่ 6 (P6) บริเวณสถานีโรงสูบน้ำดิบ 2 และ สถานีสูบน้ำดิบ 3
 จุดเก็บที่ 7 (P7) บริเวณกลางอ่างเก็บน้ำด้านบน
 จุดเก็บที่ 8 (P8) บริเวณกลางอ่างเก็บน้ำด้านล่าง

- ตัวอย่างสัญลักษณ์ PX-1 คือ จุดเก็บตัวอย่าง PX (P1 ถึง P8) ที่ผิวน้ำ
 PX-2 คือ จุดเก็บตัวอย่าง PX (P1 ถึง P8) ลึกจากผิวน้ำ 2 เมตร
 PX-3 คือ จุดเก็บตัวอย่าง PX (P1 ถึง P8) ลึกจากผิวน้ำ 5 เมตร

* หมายเหตุ ระดับน้ำผิวน้ำในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน

2. การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในอ่างบางพระ โดยทำการเก็บตัวอย่างเดือนละครั้ง ในช่วงเดือนเมษายน 2556 ถึง เดือนมีนาคม 2557 ที่แต่ละจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแทนจะเก็บตัวอย่างโดยเริ่มจากผิวน้ำ ไประดับความลึกลงไป 2 เมตร และ 5 เมตร ในบางจุดเก็บ

การเก็บน้ำตัวอย่างทำการเก็บน้ำตัวอย่างปริมาตร 2 ลิตร ด้วยอุปกรณ์เก็บน้ำตามความลึก แบ่งเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่างตามการศึกษาดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง	การเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง
ศึกษาชนิดของสาหร่ายโดยการระบุทาง สัณฐานวิทยา (Morphological identification) ด้วยวิธี Direct Microscopic Examination	เก็บรักษาตัวอย่างด้วยน้ำยาฟอร์มาลดีไฮด์ที่มี คุณสมบัติเป็นกลาง ความเข้มข้น 4% ไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
ศึกษาชนิดของสาหร่ายโดยการระบุทางอนุ ชีววิทยา (Molecular identification) ด้วยวิธี PCR-DGGE	เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส
วิเคราะห์คุณภาพน้ำ	เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พารามิเตอร์จำพวกสารอาหารเก็บรักษาด้วยกรด

3. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง

- 3.1 วัดอุณหภูมิโดยใช้ DO meter
- 3.2 วัด pH โดยใช้ pH Pen
- 3.3 วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) โดยใช้ DO meter

4. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำตัวอย่างที่เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยวิธีของ APHA & AWWA Standard Methods (1998) แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 วิธีวิเคราะห์หรือมาตรฐานอ้างอิงของแต่ละพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	มาตรฐานอ้างอิง
ความขุ่น	Nephelometric	2130 B
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	Total Suspended solids Dried at 103-105 °C	2540 D
สภาพน้ำไฟฟ้า	Conductivity meter	
ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD)	5-Day BOD Test	5210 B
ความเป็นด่าง	Titration Method	2320 B
ออร์โธฟอสเฟต ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)	Ascorbic acid method	4500-P
แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$)	Nesslerization	4500-NH ₃
ไนเตรต ($\text{NO}_3^-\text{-N}$)	Cadmium reduction	4500-NO ₃ ⁻
เหล็ก	1,10 Phenanthroline	3500 Fe
คลอโรฟิลล์ เอ	Spectrophotometry	10200 H

5. การศึกษาชนิดของสาหร่าย

5.1 ศึกษาชนิดของสาหร่ายโดยการระบุทางสัณฐานวิทยา (Morphological identification) ด้วยวิธี Direct Microscopic Examination ทำการวิเคราะห์ชนิดของสาหร่ายด้วยการดูรูปร่างลักษณะ โดยดูดน้ำตัวอย่างใส่หลอด centrifuge ขนาด 15 มิลลิลิตร ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปหยดลงบนสไลด์ ปิดด้วย cover slip นำไปศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกลงภาพ ถ่ายรูปลักษณะของสาหร่าย และจำแนกสาหร่ายตามเอกสารของ Bold and Wynne (1978) และยิวดี (2556)

ศึกษาชนิดของสาหร่ายในช่วงเกิดปรากฏการณ์การแพร่กระจายของสาหร่าย โดยการระบุทางอนุชีววิทยา (Molecular identification) โดยวิธี Polymerase Chain Reaction and Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (PCR-DGGE) หลักการคือ เพิ่มปริมาณ DNA ของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการศึกษาแล้วนำไปจำแนกตามองค์ประกอบของโมเลกุล DNA

5.2 การสกัด DNA ใช้ชุดสกัด Genomic DNA extraction mini kit (RBC Bioscience) (ภาคผนวก ข)

5.3 การเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR)

เพิ่มปริมาณ DNA โดยใช้ชุดวิเคราะห์ FastStart essential DNA green master (Roche) ไพรเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาเป็นไพรเมอร์ CYA359F , CYA781R (a) และ (b) (Nubel *et al.*, 1997) ลำดับเบสของแต่ละไพรเมอร์แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ไพรเมอร์ที่ใช้ในการทำ PCR จากไซยาโนแบคทีเรีย

เป้าหมาย	ไพรเมอร์	ลำดับเบส	ขนาด (bp)
Cyanobacteria	CYA359F	GGG GAA TYT TCC GCA ATG GG	359-378
16S rRNA	CYA781R(a)	GAC TAC TGG GGT ATC TAA TCC CAT T	781-805
	CYA781R(b)	GAC TAC AGG GGT ATC TAA TCC CTT T	781-805

ไพรเมอร์ CYA359F ที่ใช้จะทำการติด GC-Camp จำนวน 40 bp (5'-CGC CCG CCG CGC CCC GCG CCG GTC CCG CCG CCC CCG CCC G -3')

โดยขั้นตอนการเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) มีขั้นตอนดังนี้

5.3.1 การเตรียม master mix ปริมาณ 15 ไมโครลิตร ซึ่งประกอบด้วย

- 2x SYBR green 10 ไมโครลิตร
- ไพร์เมอร์ CYA359F 1 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์)
- ไพร์เมอร์ CYA781R(a) และ CYA781R(b) อย่างละ 0.5 ไมโครลิตร (ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์)
- H₂O 3 ไมโครลิตร

5.3.2 ผสม master mix ปริมาณ 15 ไมโครลิตร กับแม่แบบ DNA ปริมาณ 5 ไมโครลิตร

5.3.3 ทำปฏิกิริยาในเครื่อง Light Cycler Nano (Roche) โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแต่ละขั้นตอนในการเพิ่มปริมาณ DNA (Ye *et al.*, 2011) แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เงื่อนไขในการเพิ่มปริมาณ DNA

เงื่อนไข	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รอบ
Initial denaturing	95	10	-
Denaturing	94	1	35
An annealing	60	1	
Elongation	72	1	
Final elongation	72	5	-

5.4 การตรวจวิเคราะห์หาขนาดคู่เบสของ DNA ด้วยวิธี Gel electrophoresis

การทำ Agarose gel electrophoresis เพื่อแยกขนาดคู่เบสของ DNA โดยอาศัยกระแสไฟฟ้าในการแยก กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังขั้วบวก ซึ่ง DNA ที่หยอดลงบนหลุมตัวอย่างจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับกระแสไฟฟ้า โดยที่ DNA ที่มีขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าขนาดเล็ก ทำให้สามารถแยกได้ตามขนาด โดยเตรียม 1% agarose ใน 1X TAE buffer ชั่ง agarose 0.25 กรัม ละลายใน 1X TAE buffer 25 มิลลิลิตร นำเข้าไมโครเวฟประมาณ 1 ถึง 2 นาที ทิ้งให้อุ่น เท agarose ลงในถาด electrophoresis (Mini-Sub cell GT, Bio rad) หลังจากนั้นเจลแข็งตัว นำ DNA ที่เพิ่มจำนวนปริมาณ 3 ไมโครลิตร ผสมกับ 2X loading dye ปริมาณ 1 ไมโครลิตร

แล้วหยดลงในหลุมที่เตรียมบน agarose gel ที่เป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ใน 1X TAE buffer โดยใช้กระแสไฟฟ้า 100 โวลต์ เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำ agarose gel มาทำการย้อม โดยแช่ในสารละลาย ethidium bromide ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 นาที (ภาคผนวก ข) ตรวจสอบแถบ DNA ในเจลภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอมาตรฐาน (DNA marker)

5.5 การตรวจวิเคราะห์ลำดับเบส DNA ด้วยวิธี DGGE

การทำ DGGE เพื่อแยกลำดับเบสของ DNA โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นสาร gradient denaturant โดยเตรียมเจล 6% acrylamide ความเข้มข้น denaturing gradients ranging ไปจาก 30% ไป 60% เซตเจลลงบนกระจกที่ประกอบด้วยฐานรองเจล นำ DNA ที่เพิ่มจำนวนไปตรวจวิเคราะห์ ในการทดสอบใช้สารละลาย DNA 20 ไมโครลิตร ผสมกับ 2X loading dye จำนวน 20 ไมโครลิตร แล้วหยดลงในหลุมที่เตรียมบน acrylamide gel ซึ่งเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ใน 1X TAE buffer โดยใช้กระแสไฟฟ้า 75 โวลต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 960 นาที นำเจลมาทำการย้อมโดยแช่ในสารละลาย ethidium bromide เป็นเวลา 20 นาที (Ye *et al.*, 2011) (ภาคผนวก ข) ตรวจวิเคราะห์แถบ DNA ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต แล้วทำการตัดเจลตรงแถบที่ปรากฏขึ้นมาทำการเพิ่มจำนวนด้วย PCR อีกครั้ง แล้วส่งตัวอย่างที่เป็น PCR product วิเคราะห์ลำดับเบสด้วยเครื่อง Applied Biosystems 3730XL (บริษัท Solgent ประเทศเกาหลีใต้)

5.6 การจัดจำแนกพันธุ์สำหรับ

การจัดจำแนกพันธุ์สำหรับ ใช้การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rDNA ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับเบสจะได้ข้อมูล 2 สาย คือด้าน primer-F และ primer-R นำข้อมูลทั้งสองสายรวมกัน ด้วยโปรแกรม BioEdit sequence alignment editor แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม NCBI BLAST

6. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำ

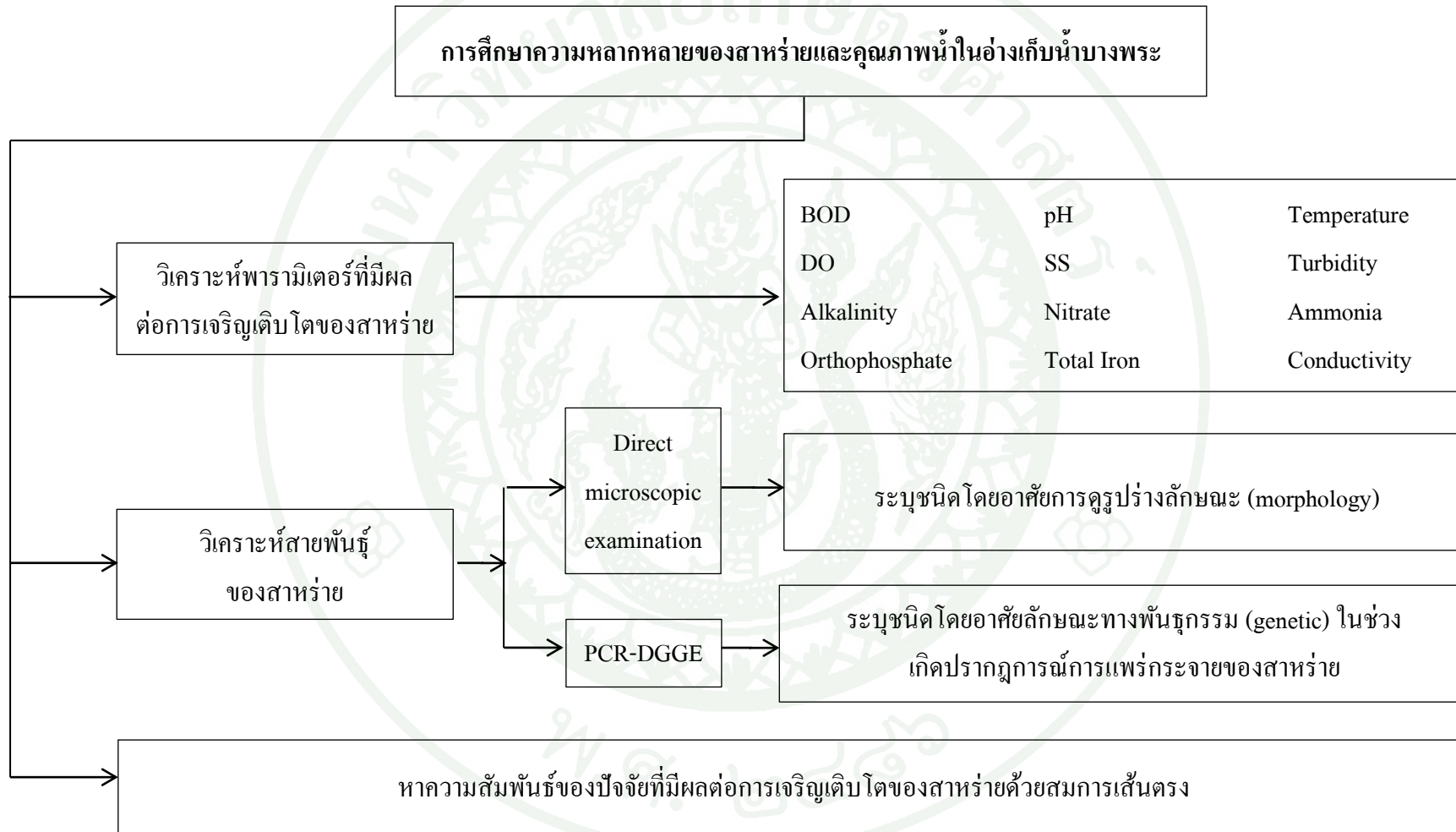
ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะใช้การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ (regression and correlation analysis) โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) โดยใช้โปรแกรม Minitab 14

การวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการจัดเตรียมข้อมูล X และ Y โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์หาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในโมเดล จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานโดยเทียบค่า b เท่ากับค่า 0 ซึ่งเป็นการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงหรือไม่

สมมติฐานหลัก (H_0) : $b = 0$ (X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน)

สมมติฐานรอง (H_1) : $b \neq 0$ (X และ Y มีความสัมพันธ์กัน)

การทดสอบสมมติฐานจะใช้การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (two - tailed) กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ใช้ค่าสถิติ p -value ในการตัดสินใจสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า p -value กับระดับนัยสำคัญ (α) หาก p -value $< \alpha$ แล้วจะปฏิเสธสมมติฐานหลักและหาก p -value $> \alpha$ จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก



ภาพที่ 11 แผนผังการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ

ผลและวิจารณ์

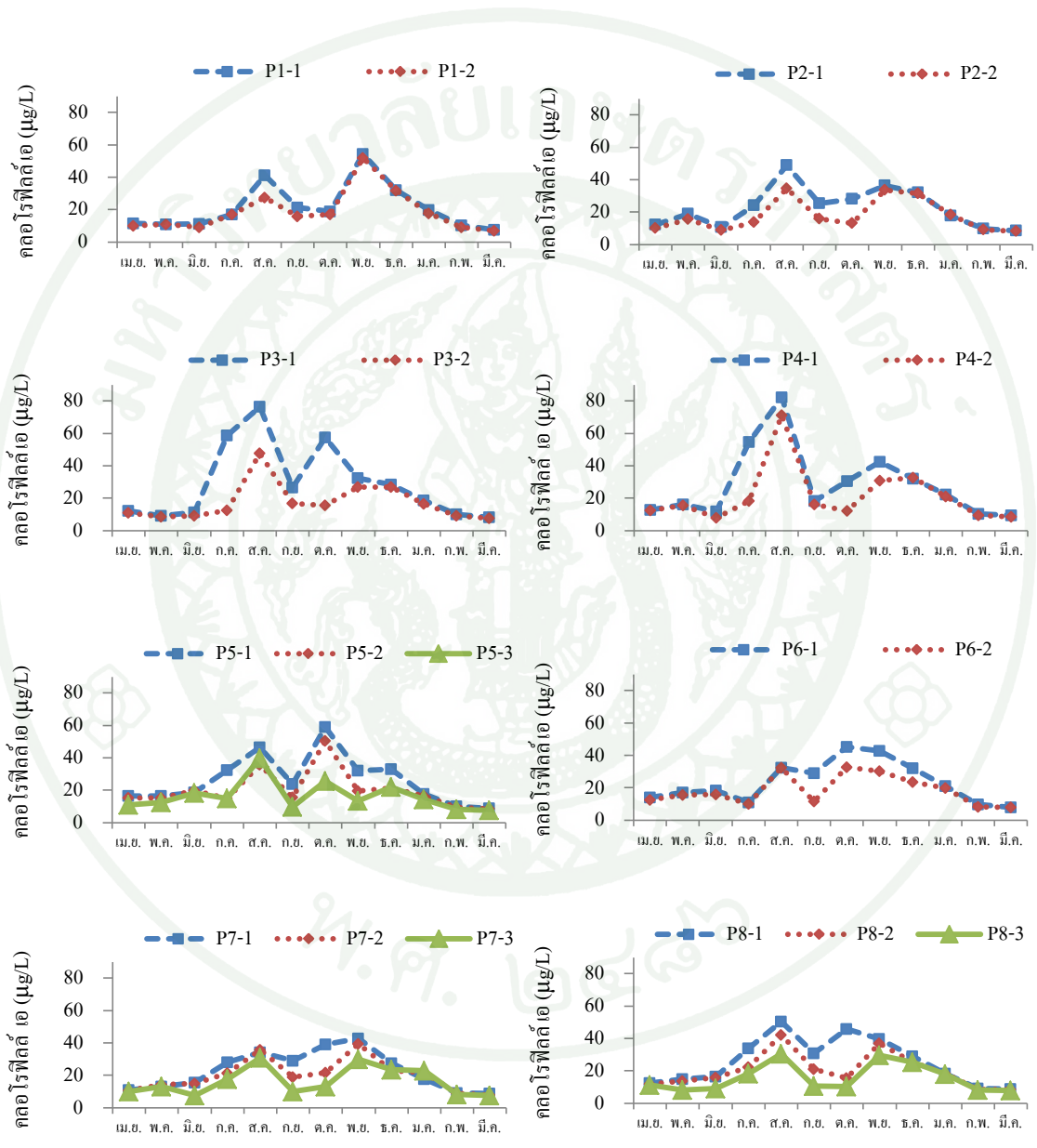
การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึงมีนาคม 2557 ครอบคลุมทั้ง 3 ฤดู คือ เดือนกุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม (ฤดูร้อน) เดือนมิถุนายนถึงตุลาคม (ฤดูฝน) และพฤศจิกายนถึงมกราคม (ฤดูหนาว) โดยจุดเก็บตัวอย่างที่ P1, P2, P3 และ P4 อยู่บริเวณทางน้ำเข้าของลำห้วย จุดเก็บตัวอย่าง P5 และ P6 อยู่บริเวณสถานีสูบน้ำดิบ จุดเก็บตัวอย่าง P7 และ P8 เป็นจุดเก็บบริเวณกลางอ่างเก็บน้ำ พบว่าคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายทั้ง 8 จุดเก็บตัวอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาประชากรของสาหร่าย

การศึกษาประชากรสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ใช้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในการบ่งบอกปริมาณประชากรของสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายทุกชนิดมีคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุหลัก ซึ่งจะแปรผันตามความหนาแน่นของสาหร่าย (ถัดดา, 2544) จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำทั้ง 8 จุดของอ่างเก็บน้ำบางพระ ในช่วงเดือนเมษายน 2556 ถึงมีนาคม 2557 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อยู่ในช่วง 7.06 ถึง 82.09 $\mu\text{g/L}$ (ภาพที่ 12) มีการแปรผันตามฤดูกาล โดยจะมีปริมาณน้อยในช่วงฤดูร้อนและมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝนเหมือนกันในทุก ๆ จุดเก็บตัวอย่าง พบค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์ที่อ่างเก็บน้ำ สูงสุดถึง 44.18 $\mu\text{g/L}$ ในเดือนสิงหาคม และค่าเฉลี่ยน้อยสุด 12.03 $\mu\text{g/L}$ ในเดือนเมษายน

ในแต่ละฤดูกาลจุดที่รับน้ำเข้าจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าจุดอื่น ๆ โดยมีปริมาณมากสุดในเดือนสิงหาคมที่จุดเก็บตัวอย่าง P4-1 มีค่า 82.09 $\mu\text{g/L}$ (บริเวณทางเข้าห้วยกุ่ม ที่ฝื่อน้ำ) รองลงมาคือจุด P3-1 มีค่า 76.33 $\mu\text{g/L}$ (บริเวณทางเข้าห้วยกรูและโกรกลี ที่ฝื่อน้ำ) พบปริมาณน้อยสุดในเดือนมิถุนายน ที่จุดเก็บตัวอย่าง P7-3 (จุดเก็บกลางอ่างเก็บน้ำที่ระดับความลึก 5 เมตร) ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่บ่งชี้ถึงการเกิดยูโทรฟิเคชัน (10 $\mu\text{g/L}$) (Helmut, 1991)

คลอโรฟิลล์ เอ ที่พบมีปริมาณสูงที่ผิวน้ำและลดน้อยลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น เหมือนกันในทุก ๆ จุดเก็บตัวอย่าง การที่คลอโรฟิลล์ เอ มีปริมาณลดลงตามระดับความลึกนั้น เนื่องจากปริมาณแสงแดดจะลดลงตามระดับความลึก ซึ่งส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่ายเหมือนกันในทุก ๆ จุด ทำให้ปริมาณสาหร่ายลดลงตามระดับความลึก



ภาพที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557

การที่สาหร่ายเกิดการแพร่กระจายในช่วงฤดูฝน เนื่องจากมีปริมาณน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำปริมาณมาก (ภาพผนวกที่ ก1) เกิดการพัดพาสารอาหารลงสู่อ่างเก็บน้ำ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณทางเข้าลำห้วยมีปริมาณสาหร่ายมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากเป็นจุดรับน้ำเข้า มีปริมาณสารอาหารมากกว่าจุดอื่น รวมถึงเป็นบริเวณใกล้ฝั่งทำให้คลื่นลมจะพัดพาสาหร่ายมายังบริเวณนี้ สังเกตได้จากจุด P7 และ P8 ซึ่งอยู่กลางอ่างได้รับอิทธิพลจากคลื่นลมน้อย ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำกว่าจุดอื่น ๆ

2. คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัด ชลบุรี คุณภาพน้ำทุกปัจจัยที่ทำการตรวจสอบ มีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน กล่าวโดยแยกปัจจัยดังนี้

อุณหภูมิของน้ำ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลต่อกระบวนการเคมี การหายใจ และเมตาบอลิซึมของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งกระบวนการเหล่านั้นเป็นสิ่งสำคัญในการแพร่กระจายพันธุ์ และการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 26.9 ถึง 32.0 องศาเซลเซียส โดยค่ามากที่สุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนมกราคม (ฤดูหนาว) (ภาพที่ 13) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำทั้ง 12 เดือนที่ทำการศึกษา จัดอยู่ในเกณฑ์ปกติของแหล่งน้ำทั่วไป ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 35 องศาเซลเซียส (เปี่ยมศักดิ์, 2534) และแพลงก์ตอนพืชน้ำจืดทั่วไปเจริญเติบโตได้เหมาะสมที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส (Boney, 1975)

อุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและความลึกของน้ำ โดยพบว่าเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิของน้ำจะลดลง อุณหภูมิของน้ำเป็นผลโดยตรงกับพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังผิวน้ำ โดยจะแปรผันตามฤดูกาล ระดับความสูง และระดับความลึกของน้ำ (Goldman and Horne, 1983)

จากข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดชลบุรีอยู่ในช่วง 14.07 ถึง 20.87 MJ/m²-day โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม และค่าน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายน (ตารางผนวกที่ ก 25) แสงเกี่ยวข้องกับ การสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของสาหร่าย การสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อความเข้มแสงถึงระดับอิ่มตัว (Watt, 1969) ปริมาณแสงแดดส่วนมากจะพบมากอยู่ในช่วงฤดูร้อน แต่ในเดือนสิงหาคมมีปริมาณแสงสูงถึง 19 MJ/m²-day จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้ในเดือนสิงหาคมมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นกว่าเดือนอื่น ๆ ในช่วงฤดูฝน

ความขุ่น และของแข็งแขวนลอย (turbidity and suspended solids)

ความขุ่นและปริมาณของแข็งแขวนลอยมีผลต่อความเข้มแสงที่ส่องลงไปใต้น้ำ น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้แสงส่องลงไปได้น้อย ซึ่งจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ทั้งนี้จากการศึกษาน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ พบว่าน้ำมีลักษณะค่อนข้างใส ตะกอนความขุ่นส่วนใหญ่เป็นสีเขียวของสาหร่าย โดยมีค่าความขุ่นในช่วงกว้าง 3.25 ถึง 61.60 NTU โดยค่าสูงสุดอยู่ในเดือนกันยายนและค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 14) ในขณะที่ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีปริมาณอยู่ในช่วง 1 ถึง 49 mg/L โดยปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนกันยายนและปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนมกราคม (ภาพที่ 15)

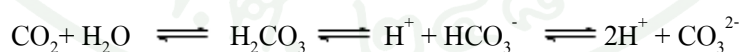
ดังที่กล่าวข้างต้นว่า ความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในอ่างเก็บน้ำบางพระเป็นตะกอนของสาหร่าย โดยที่พบว่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยมีการแปรผันตามระดับความลึกด้วย ทั้งนี้ Shirota (1966) ได้ให้คำอธิบายว่าเป็นผลมาจากการที่สาหร่ายส่วนใหญ่เจริญได้ดีและลอยอยู่ในระดับบนของผิวน้ำ ที่ระดับความลึกเพิ่มขึ้น การสังเคราะห์แสงลดลงทำให้มีการเจริญลดลง แต่ในกรณีของอ่างเก็บน้ำบางพระในช่วงฤดูฝนพบว่าจุดเก็บตัวอย่าง P2 P3 และ P4 มีความขุ่นและปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ทั้งนี้เป็นเพราะทั้งสามจุดเป็นจุดรับน้ำจากลำห้วย มีพื้นที่ต้น มีการจับสัตว์น้ำและตกปลา ทำให้ตะกอนดินฟุ้งกระจาย จึงมีความขุ่นและปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าจุดอื่น ๆ

สภาพนำไฟฟ้า (conductivity)

สภาพนำไฟฟ้าซึ่งเป็นผลของไอออนละลายในน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 139.8 ถึง 194.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ โดยค่ามากที่สุดอยู่ในเดือนเมษายนและค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนตุลาคม (ภาพที่ 16) สภาพไฟฟ้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระในภาพรวมอยู่ในภาวะที่ไม่มีปัญหาในแง่มลภาวะและไม่มีผลต่อการอยู่รอดของพืชน้ำ เนื่องจากมีค่าไม่เกิน 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ เป็นค่าที่อยู่ในช่วงของแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป (มันลิน, 2540) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ สารละลายที่สำคัญในแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติได้แก่ สารประกอบคาร์บอเนต ซัลเฟต คลอไรด์ เป็นต้น ค่านำไฟฟ้าจะแตกต่างกันตามอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม เช่น ฝน การระเหยของน้ำ ปริมาณน้ำกระบวนทางชีวเคมีให้แหล่งน้ำ และกิจกรรมของมนุษย์ ในช่วงฤดูร้อนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเนื่องจากความสามารถในการละลายของสารขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำ ถ้ายังอุณหภูมิสูงขึ้น สารจะสามารถแตกตัวได้ดีขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วย คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เป็นส่วนใหญ่ จากการศึกษาพบว่าความเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 56 mg/L as CaCO_3 โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ในเดือนมกราคม และค่าน้อยสุดอยู่ในเดือนเมษายน (ภาพที่ 17) การเพิ่มขึ้นของความเป็นด่างเกิดจากสภาพทางธรณีวิทยา พื้นที่และการสลายตัวของหินปูน นอกจากนี้การสังเคราะห์แสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเป็นด่างและ pH ของน้ำ เนื่องจาก CO_2 เป็นส่วนหนึ่งของสมดุลของ CO_3^{2-} และ HCO_3^- ดังสมการ



ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ในการศึกษานี้ การเก็บตัวอย่างน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระแต่ละเดือน ทำในช่วงเวลาใกล้เคียงกันคือ ช่วงเช้าถึงเที่ยง พบว่าค่า pH ที่ได้แต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 7.3 ถึง 8.3 โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ในเดือนสิงหาคมและกันยายน ค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนธันวาคม (ภาพที่ 18) จะเห็นว่าแหล่งน้ำมีสภาพ pH เป็นกลางค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย

สภาพ pH ในแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนมากแล้วค่อนข้างจะเป็นด่างเล็กน้อย เพราะมีคาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนตละลายอยู่ ซึ่งทำให้น้ำที่เป็นบัฟเฟอร์ปรับสภาวะกรด-ด่าง ค่า pH ของน้ำยังขึ้นกับอุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้โดย pH แปรผกผันกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งจะแตกต่างตามสภาพแวดล้อมและการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (Smith, 1992) นอกจากนี้สภาวะ pH มีความสำคัญต่อความสามารถในการใช้ธาตุอาหารในน้ำของสาหร่ายซึ่งส่วนมากสาหร่ายจะสามารถเจริญเติบโตในแหล่งน้ำที่มี pH ในช่วง 6.8 ถึง 9.6 แต่ถ้าในช่วงบ่ายอาจมีค่า pH สูงถึง 10 ในระหว่างที่มีการสังเคราะห์แสง (Chapmann and Chapmann, 1973; Smith, 1992)

ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen)

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตต้องใช้ ออกซิเจนในการเจริญเติบโต จากการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณอยู่ในช่วง 3.07 ถึง 7.32 mg/L โดยมีปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนธันวาคมและปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤศจิกายน (ภาพที่ 19) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในเดือนเมษายนถึงสิงหาคมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ของแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีออกซิเจนที่ละลายน้ำประมาณ 5 ถึง 7 mg/L (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2525) ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเริ่มมีค่าต่ำลงอันเนื่องมาจากเป็นฤดูฝน มีการชะล้างพัดพาสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ในปริมาณมากลงมาในอ่างเก็บน้ำ จึงมีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มากขึ้น เป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง

ในปี พ.ศ. 2556 จังหวัดชลบุรีเป็นจังหวัดที่ประสบอุทกภัย ปริมาณน้ำในอ่างสูงมากขึ้น ทำให้ในเดือนพฤศจิกายนมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าในเดือนอื่น ๆ เกิดการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายซากพืชส่วนที่จมน้ำตายมากขึ้น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นต่าง ๆ จะนำไปตามกลไกของธรรมชาติ เมื่อสารอินทรีย์และอนินทรีย์หมดไป ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็จะมากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากเดือนธันวาคม พบว่ามีปริมาณออกซิเจนสูงขึ้น แสดงถึงการปรับตัวและฟื้นฟูของธรรมชาติ

การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึก โดยมีค่าลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น อ่างเก็บน้ำบางพระเป็นพื้นที่เปิดโล่งและมีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำตลอดเวลา เกิดคลื่นทั่วอ่างเก็บน้ำจึงส่งผลให้ออกซิเจนจากอากาศละลายลงสู่ผิวน้ำได้ปริมาณมาก รวมถึงการเก็บตัวอย่างในเวลากลางวัน สาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงและปล่อยออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะแตกต่างจากเวลากลางคืนที่สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจะมีการใช้ออกซิเจนสำหรับการหายใจ ทำให้ออกซิเจนในน้ำต่ำลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังขึ้นกับความกดดันบรรยากาศ อุณหภูมิ น้ำ ระดับความลึก และปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Maitland, 1978)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biochemical oxygen demand)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเป็นปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ จึงเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ จากการศึกษพบว่าค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.50 ถึง 4.38 mg/L โดยมีปริมาณมากที่สุดอยู่ในเดือนกันยายนและปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนมิถุนายน (ภาพที่ 20) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีปริมาณน้อยตลอดช่วงการวิจัยและมีปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งโดยรวมแล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน แสดงว่ามีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไม่มาก ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีจะมีปริมาณมากอยู่ในช่วงฤดูฝน เนื่องจากการชะล้างพัดพาสารอินทรีย์ลงมาในอ่างเก็บน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายจึงสอดคล้องกับปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเมื่อมีสารอินทรีย์ปริมาณมากจึงเกิดการใช้ออกซิเจนในปริมาณมากในการย่อยสลาย ทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลง

ไนโตรเจน (nitrogen)

ในการศึกษานี้ติดตามไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท เนื่องจากเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบไนโตรเจนที่สาหร่ายนำไปใช้เรียงตามความชอบ คือ แอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์ (McCarthy *et al.*, 1977) สาหร่ายทั่วไปต้องการไนโตรเจนอินทรีย์ที่ละลายน้ำในการเจริญเติบโต 0.02 mgDIN/L (Ryding, 1988)

จากการศึกษาพบว่าปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.21 mgN/L มีปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนตุลาคม ปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม มิถุนายนและมกราคม (ภาพที่ 21) ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.6 mgN/L โดยมีปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนตุลาคม ปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม (ภาพที่ 22) ซึ่งปริมาณที่มีอยู่สูงเกินความต้องการของสาหร่ายอยู่มาก แอมโมเนียและไนเตรทมีการแปรผันรูปแบบเดียวกันทุกจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละเดือน คือ เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูฝน เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำเป็นพื้นที่การเกษตร มีการทำไร่ไถ และมันสำปะหลังจำนวนมาก เมื่อถึงฤดูฝนมีปริมาณฝนตกลงมาในปริมาณสูง ไนโตรเจนจึงถูกชะล้างพัดพาลงสู่อ่างเก็บน้ำในปริมาณสูงด้วย ในช่วงฤดูฝนปริมาณออกซิเจนในอ่างเก็บน้ำลดต่ำลง เนื่องจากถูกใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้แอมโมเนียสามารถละลายน้ำเพิ่มมากขึ้น (Ruttner, 1968) สภาพะภายในอ่างเก็บน้ำจึงมีความสมบูรณ์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง P2 P3 และ P4 ซึ่งเป็นจุดทางเข้าของลำห้วย พบปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทปริมาณสูงกว่าจุดอื่น ๆ จึงมีปริมาณสาหร่ายเจริญเติบโตมากกว่าบริเวณอื่น แต่ยังคงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ของคุณภาพน้ำผิวดิน คือ แอมโมเนียไนโตรเจนมีปริมาณน้อยกว่า 0.5 mg/L และไนเตรทไนโตรเจนน้อยกว่า 5 mg/L

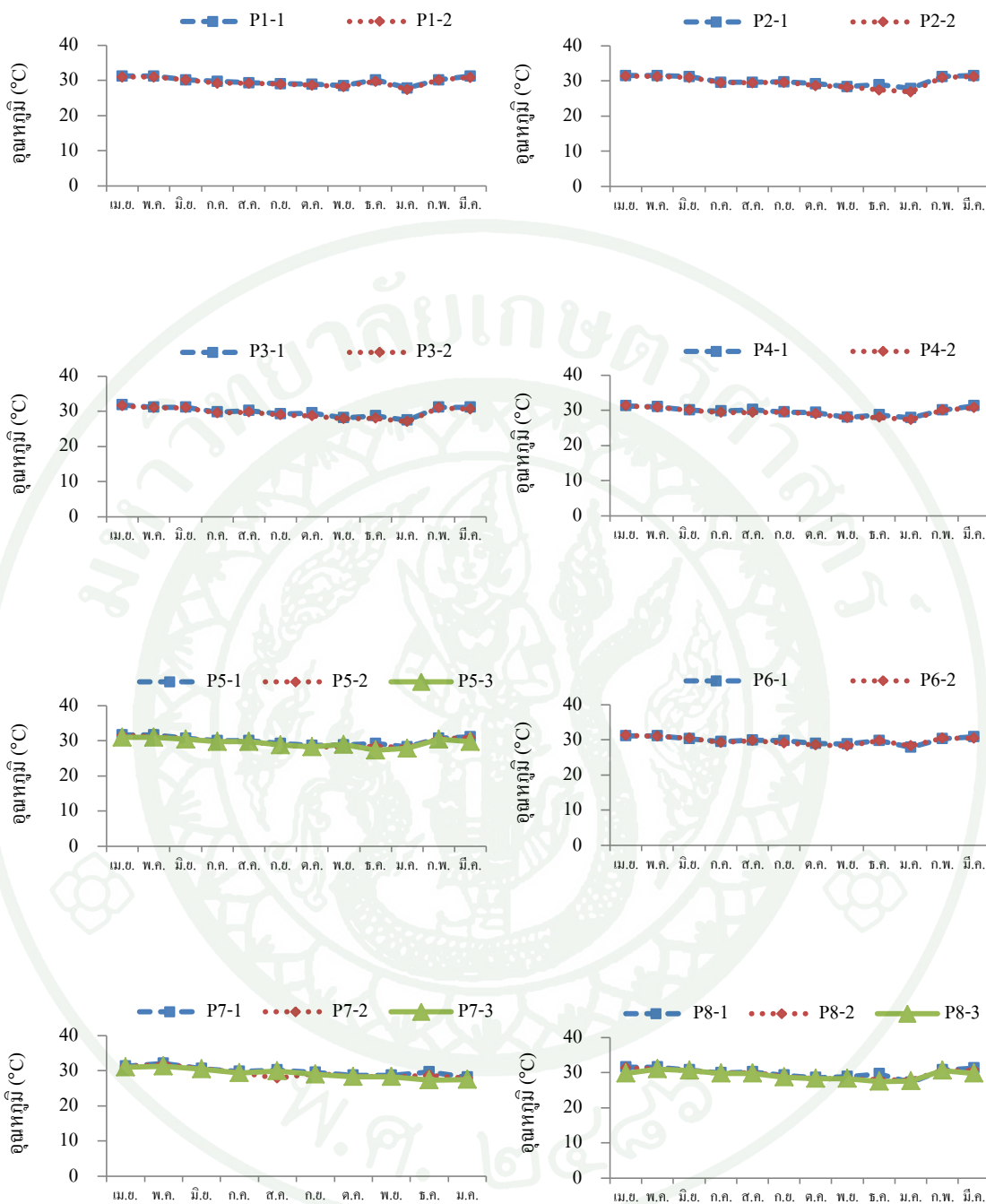
ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ในการศึกษานี้ติดตามฟอสฟอรัสในรูปของออร์โทฟอสเฟต เนื่องจากเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต (Raynolds, 1984) พืชบางกลุ่มสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ในรูปสารประกอบฟอสฟอรัส และมีเอนไซม์ alkaline phosphatase เปลี่ยนสารประกอบฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โทฟอสเฟตออกมาใช้ เมื่อพืชอยู่ในสภาวะขาดแคลน (ลัดดา, 2544) ปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำที่สาหร่ายทั่วไปต้องการในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 0.005 ถึง 0.010 mgDIP/L (Ryding, 1988)

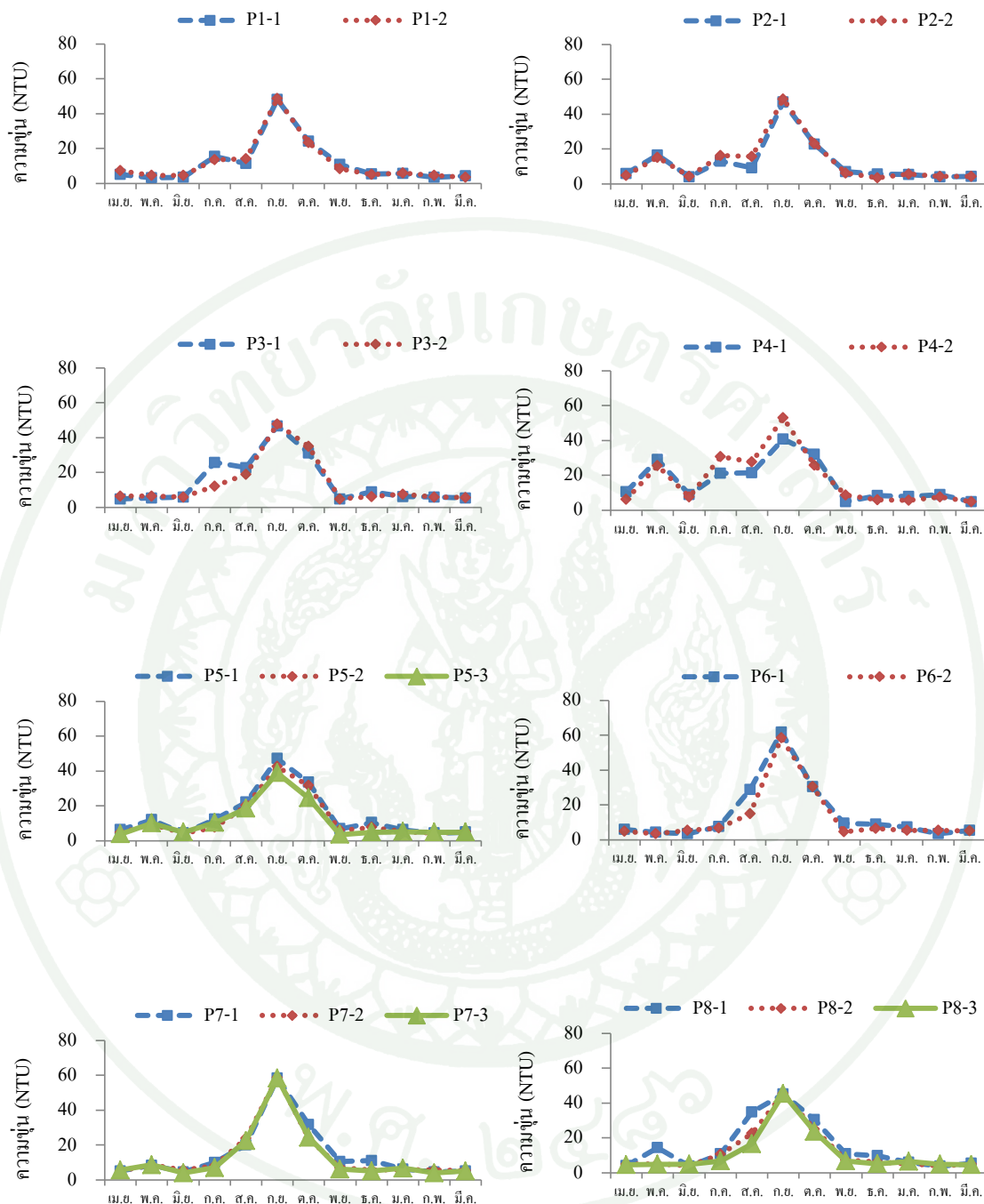
จากการศึกษาพบว่าออร์โทฟอสเฟตมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.007 ถึง 0.085 mgP/L มีปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนสิงหาคมและปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 23) ซึ่งค่าออร์โทฟอสเฟตที่พบส่วนใหญ่เกินความต้องการของสาหร่าย ปริมาณออร์โทฟอสเฟตแปรผันรูปแบบเดียวกันทุกจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละเดือน คือ เพิ่มมากขึ้นในเดือนกรกฎาคมซึ่งอยู่ในช่วงเข้าฤดูฝน ออร์โทฟอสเฟตจึงถูกชะล้างพัดพาลงสู่อ่างเก็บน้ำในปริมาณสูง หลังจากสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ที่สารอาหารในอ่างเก็บน้ำเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนคือเริ่มเข้าฤดูหนาว ทำให้ปริมาณสาหร่ายเริ่มลดลงตามไปด้วย โดยเฉลี่ยแล้วพบปริมาณออร์โทฟอสเฟตมากอยู่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง P2 P3 และ P4 ซึ่งเป็นจุดทางเข้าของลำห้วย จึงส่งผลต่อปริมาณสาหร่าย ทำให้มีการเจริญเติบโตมากกว่าบริเวณอื่น การเปลี่ยนแปลงของออร์โทฟอสเฟตเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่าย จะเห็นได้จากปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และออร์โทฟอสเฟตมีการแปรผันตามกันในทุก ๆ เดือน

เหล็ก (iron)

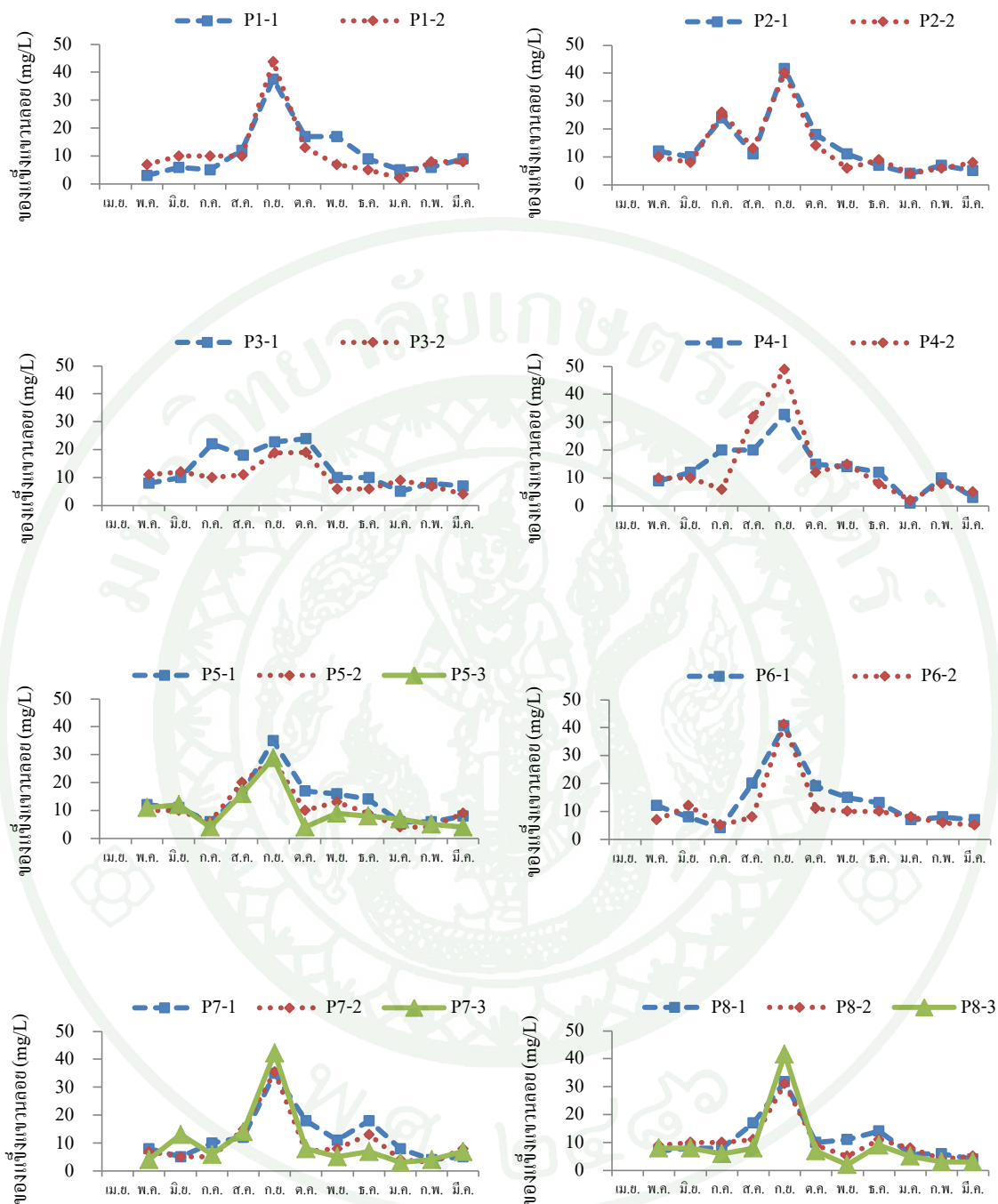
ในการศึกษานี้ ติดตามเหล็กในรูปเหล็กกรรม โดยพบปริมาณอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.38 mg/L โดยมีปริมาณมากสุดอยู่ในเดือนตุลาคมและปริมาณน้อยสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม (ภาพที่ 23) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูฝน เหล็กเป็นธาตุอาหารรองสำหรับสาหร่าย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม เพราะเป็นองค์ประกอบของไซโตโครมต่าง ๆ และนอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซึมไนโตรเจน และกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากมีผลต่อการสังเคราะห์รงควัตถุ (Oquist, 1971) การมีปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นจึงเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและแพร่กระจายของสาหร่าย ในช่วงที่มีปริมาณสารอาหารหลักเพิ่มมากขึ้น



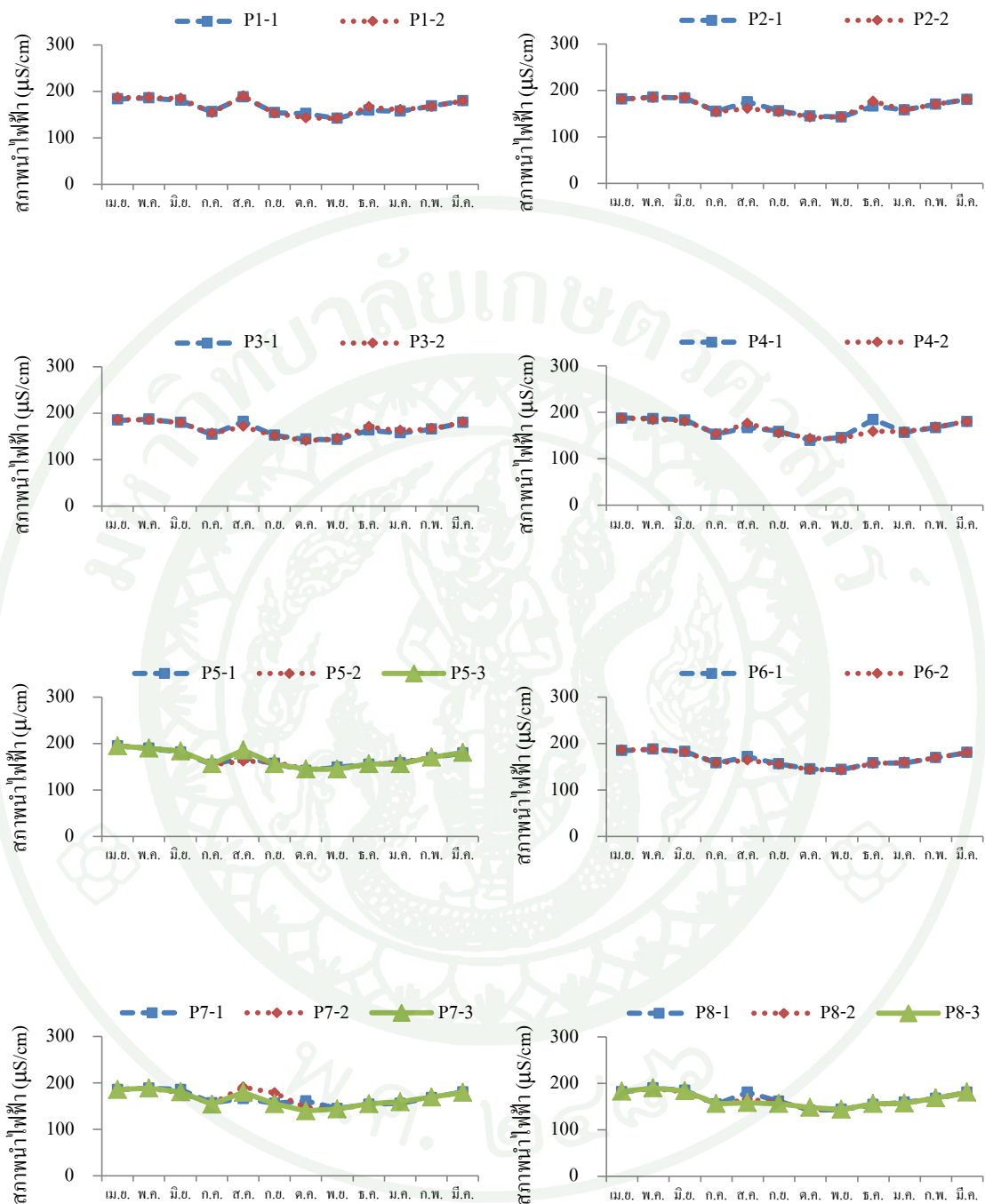
ภาพที่ 13 อุณหภูมิของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



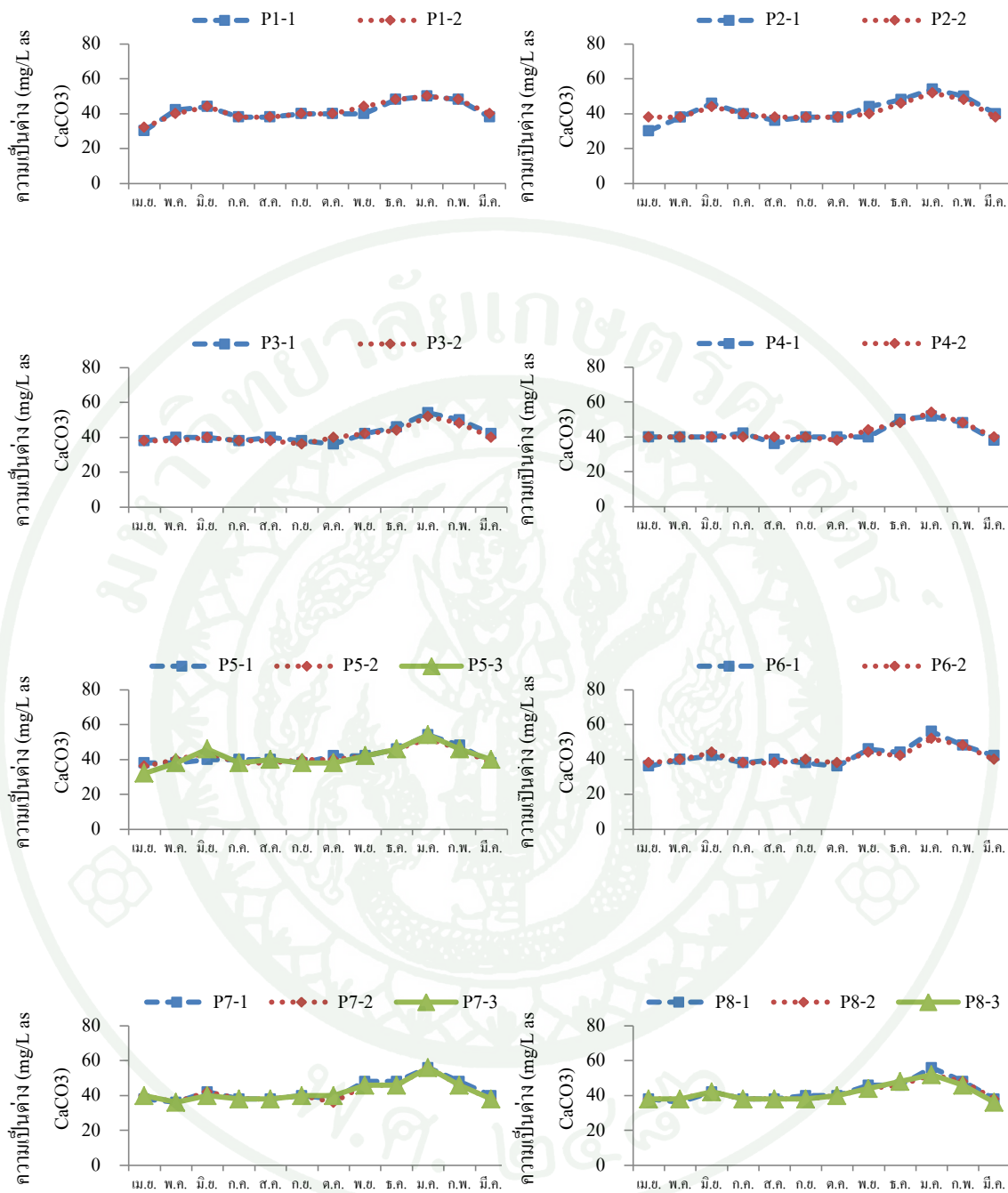
ภาพที่ 14 ค่าความขุ่นของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



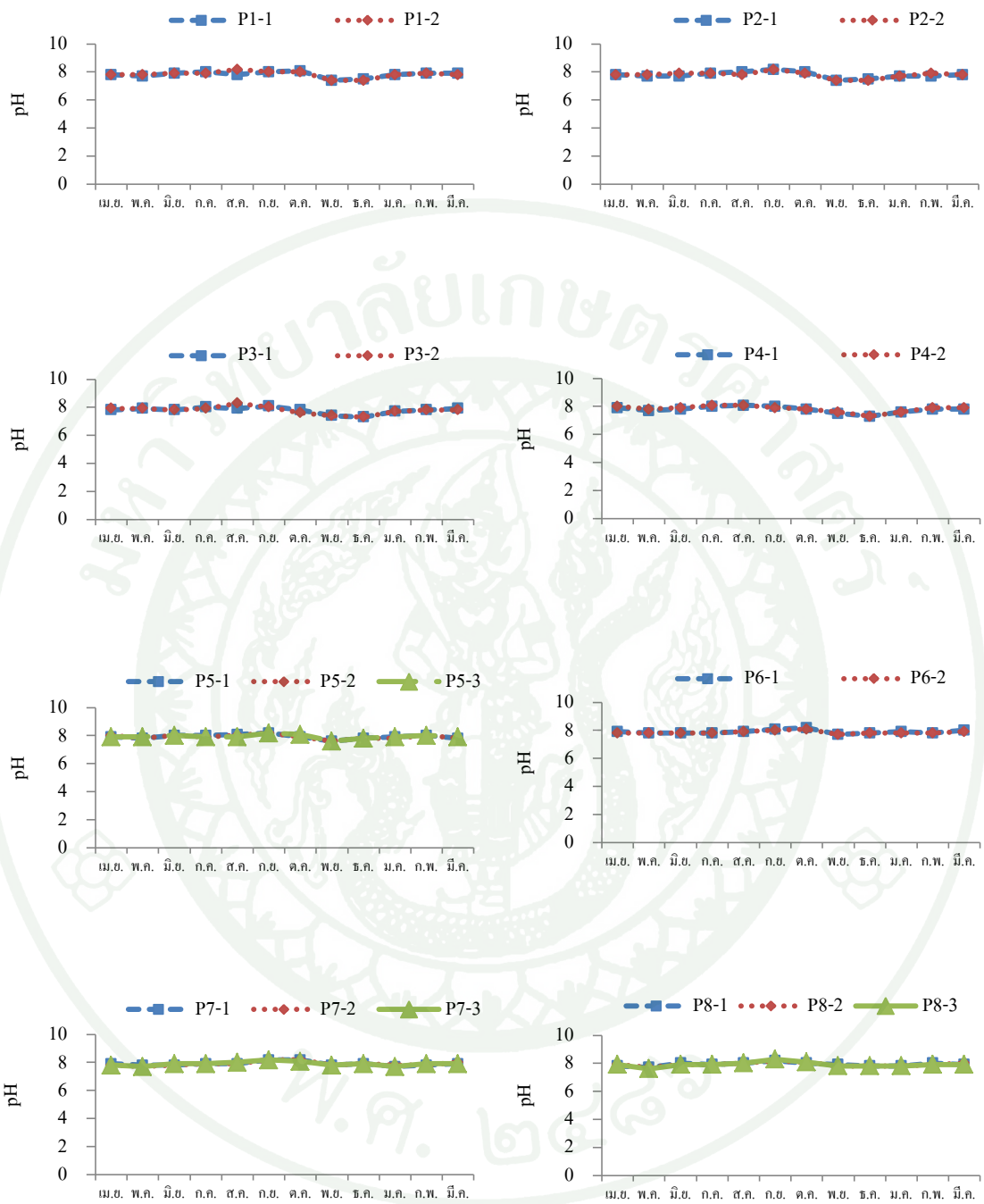
ภาพที่ 15 ปริมาณของแ่งแวนลอยในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน
เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



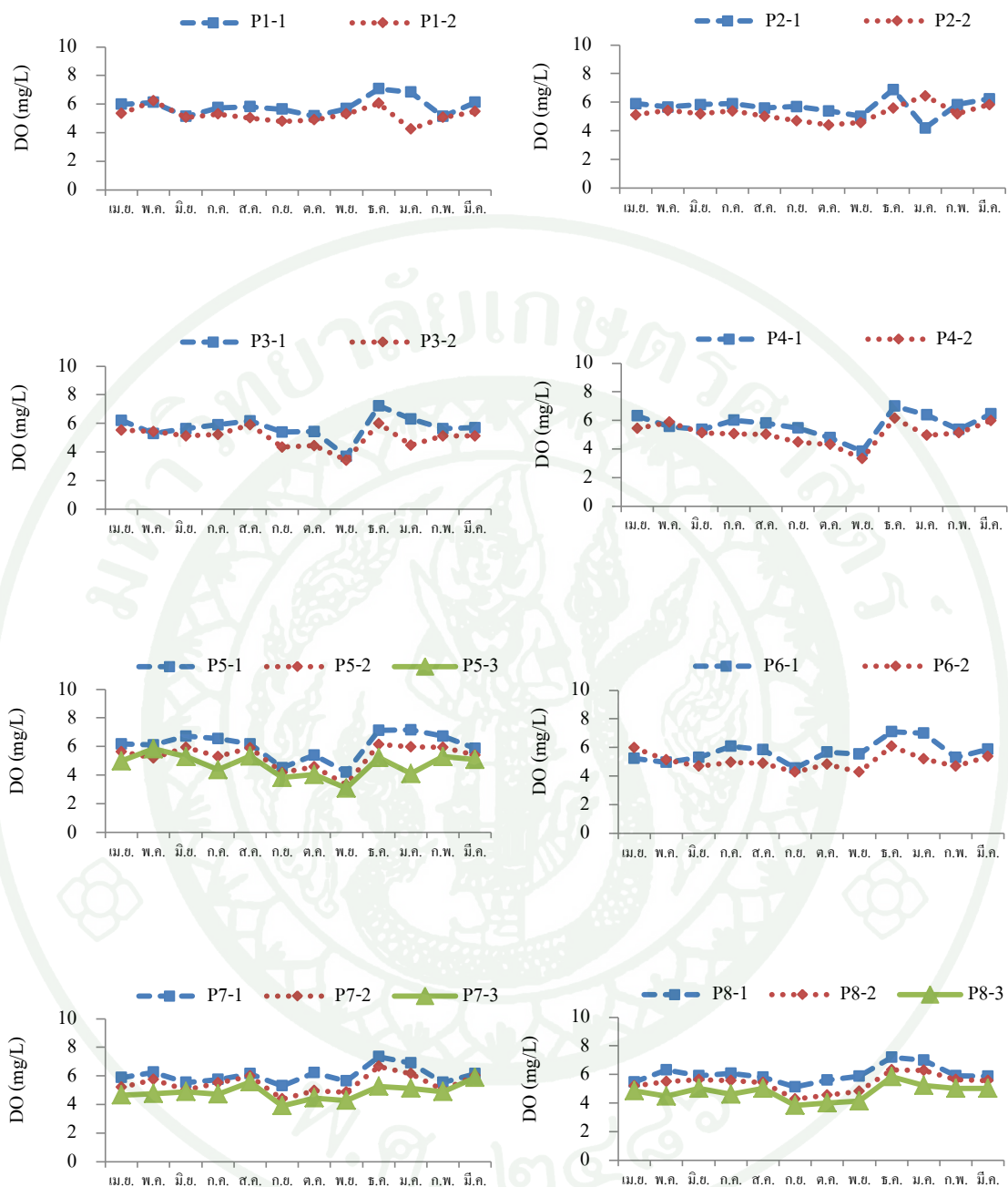
ภาพที่ 16 สภาพน้ำไฟฟ้าในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



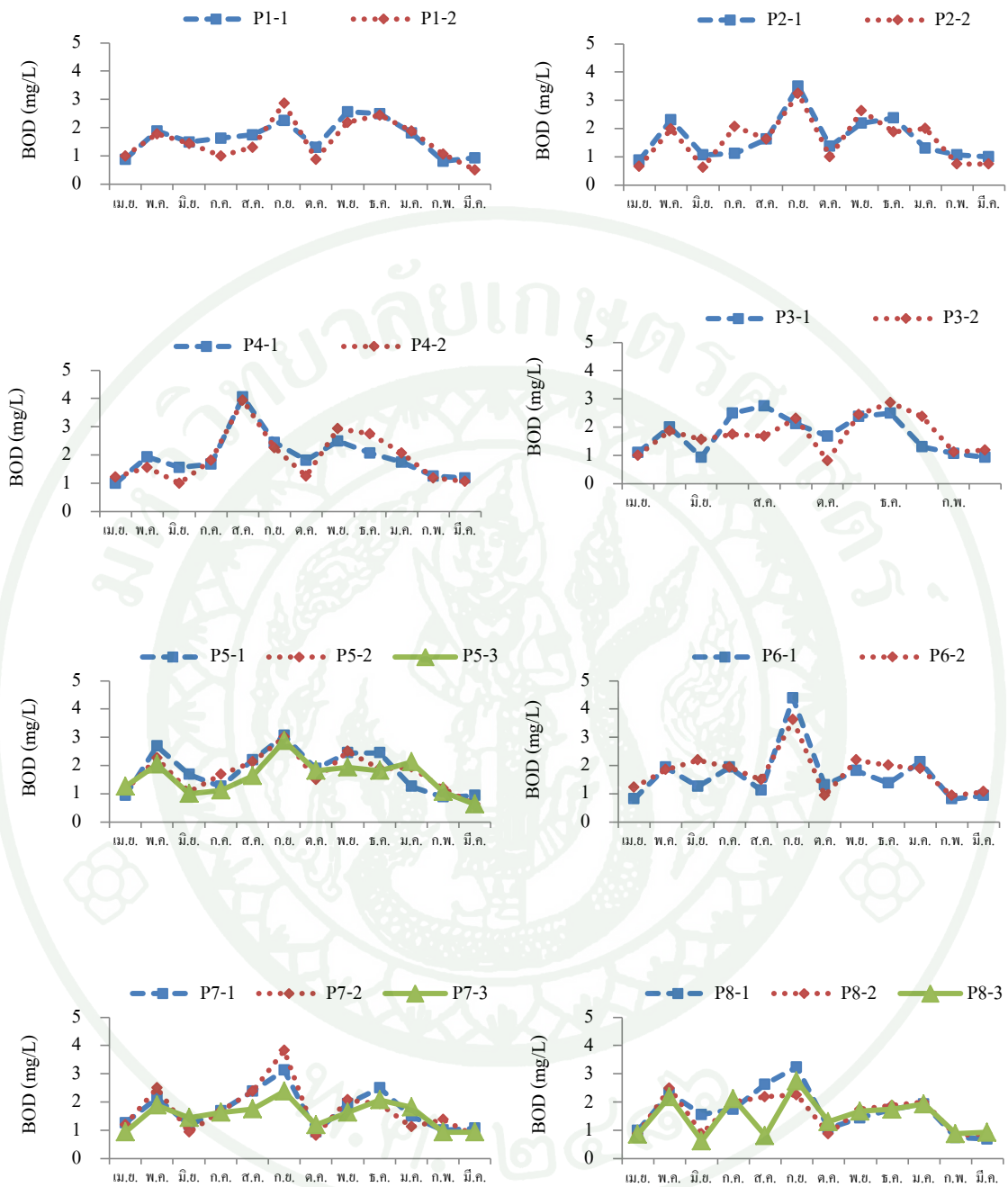
ภาพที่ 17 ค่าความเป็นด่างในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



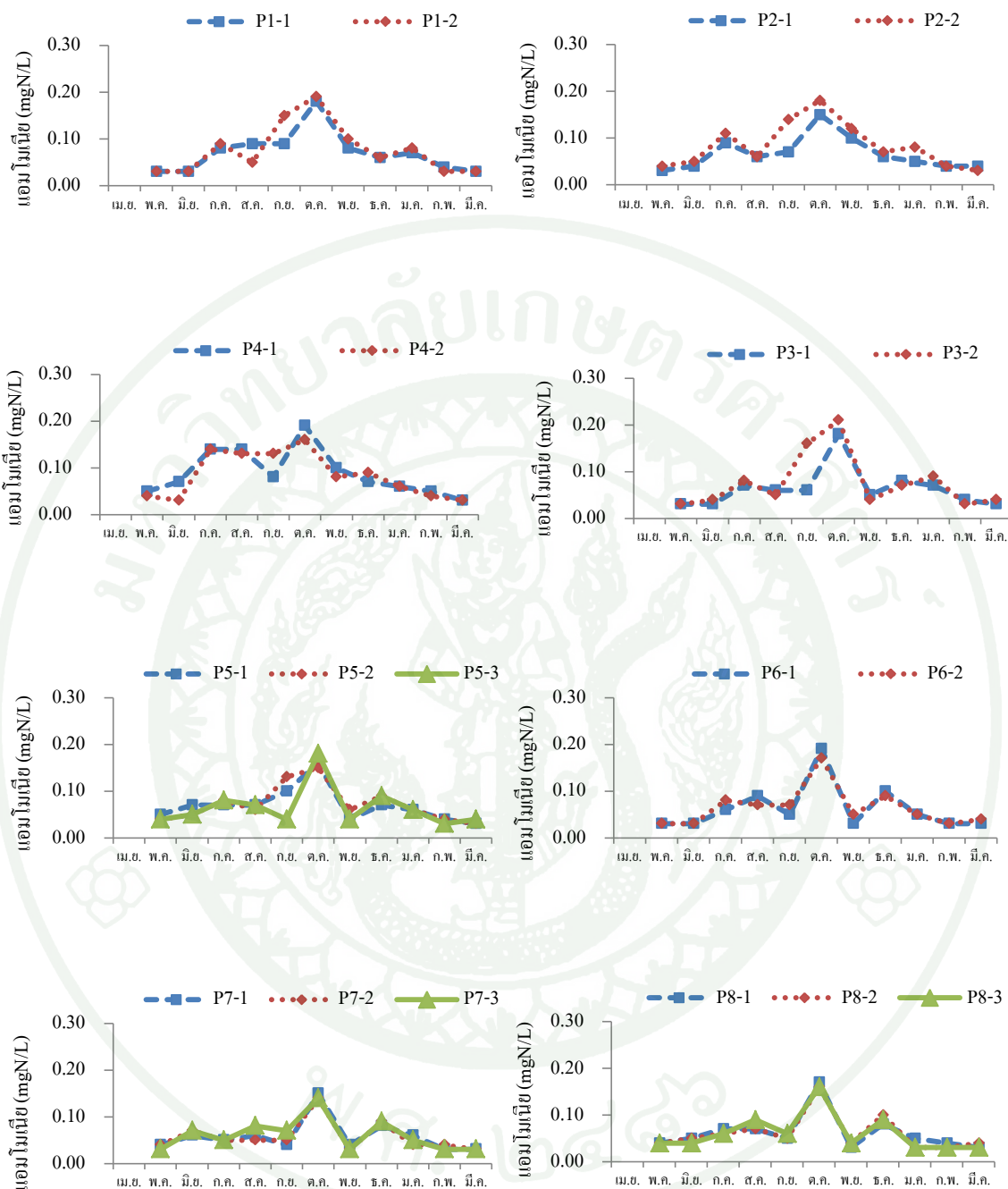
ภาพที่ 18 ค่า pH ของน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



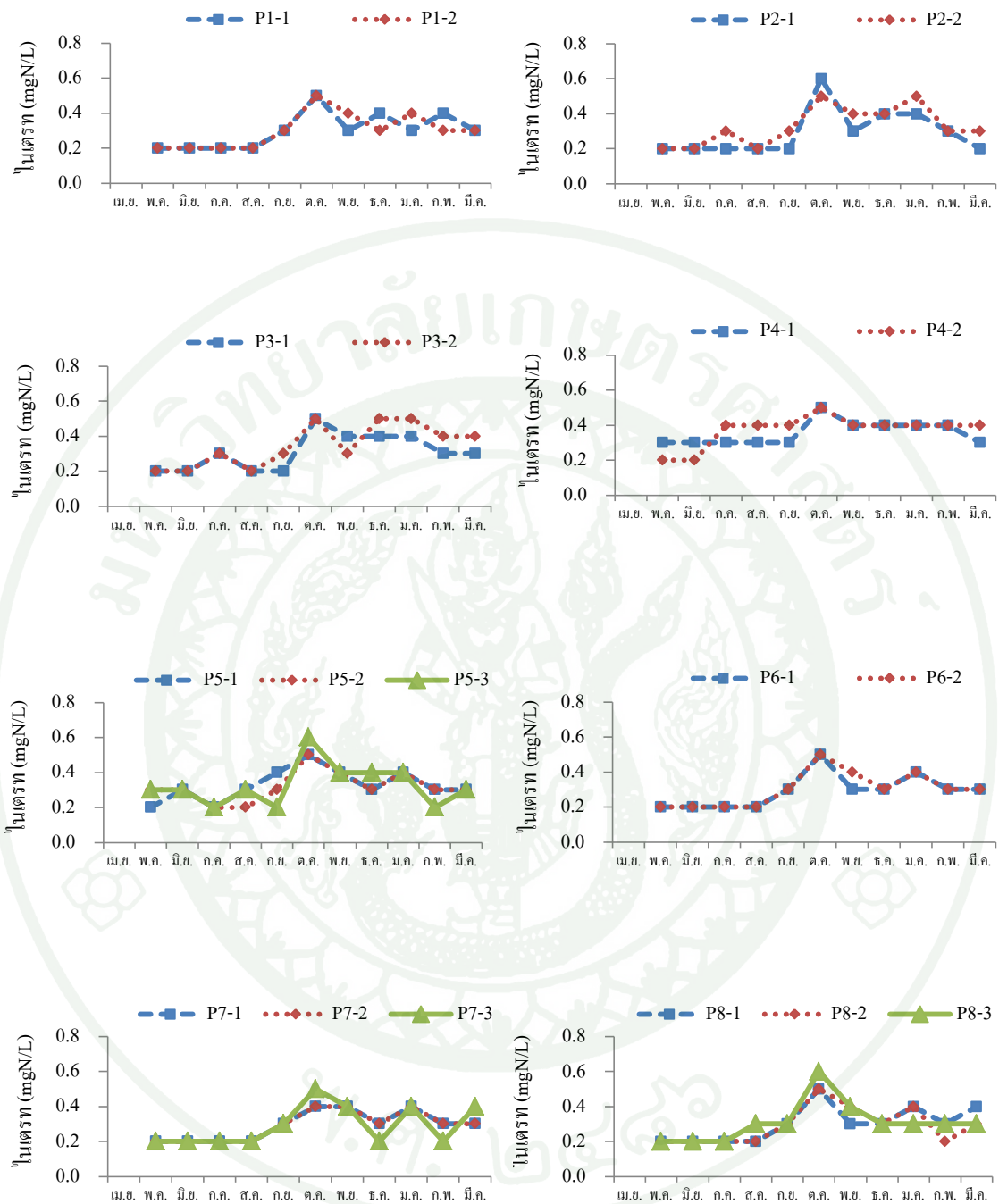
ภาพที่ 19 ปริมาณออกซิเจนละลายในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน
เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



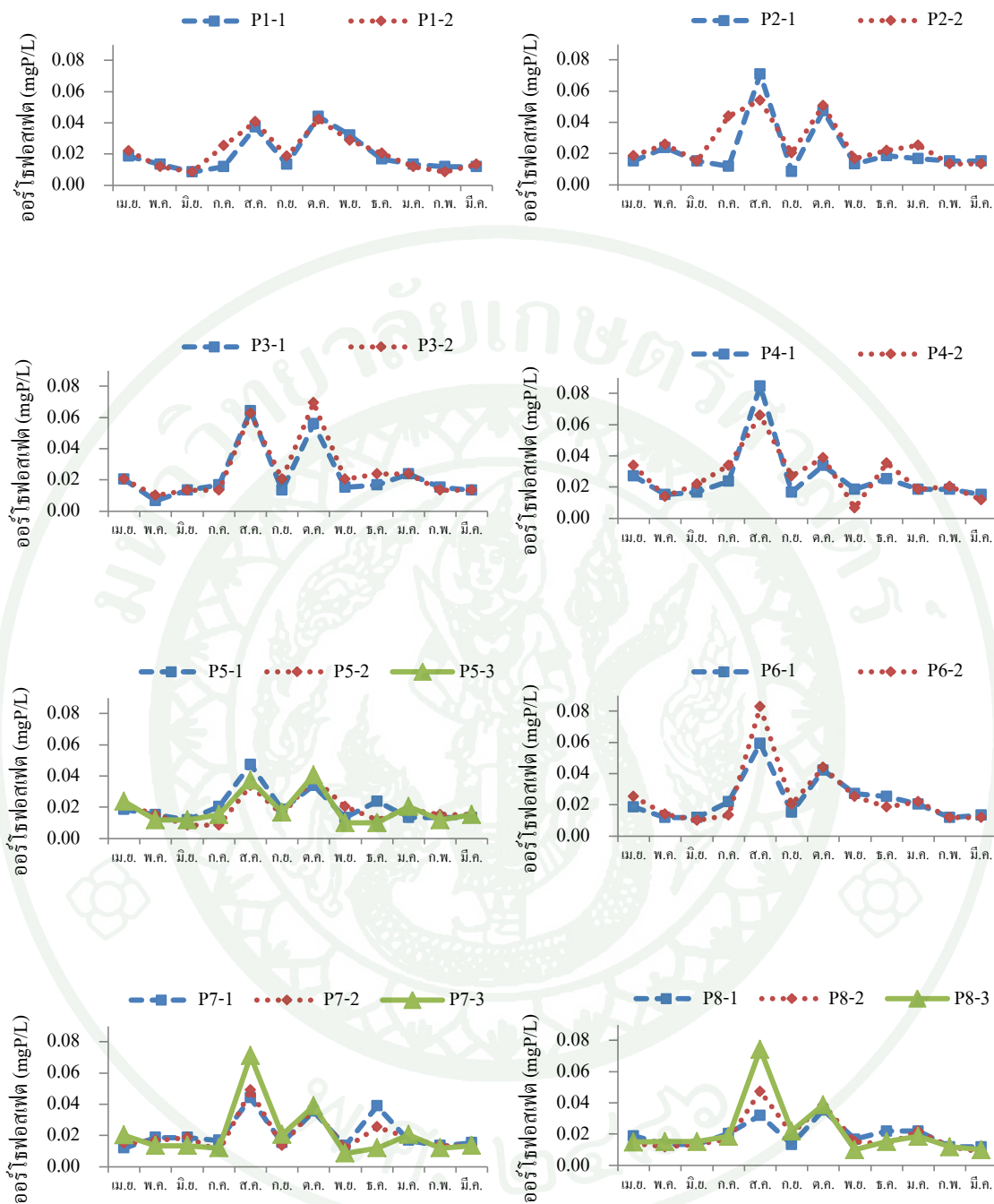
ภาพที่ 20 ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



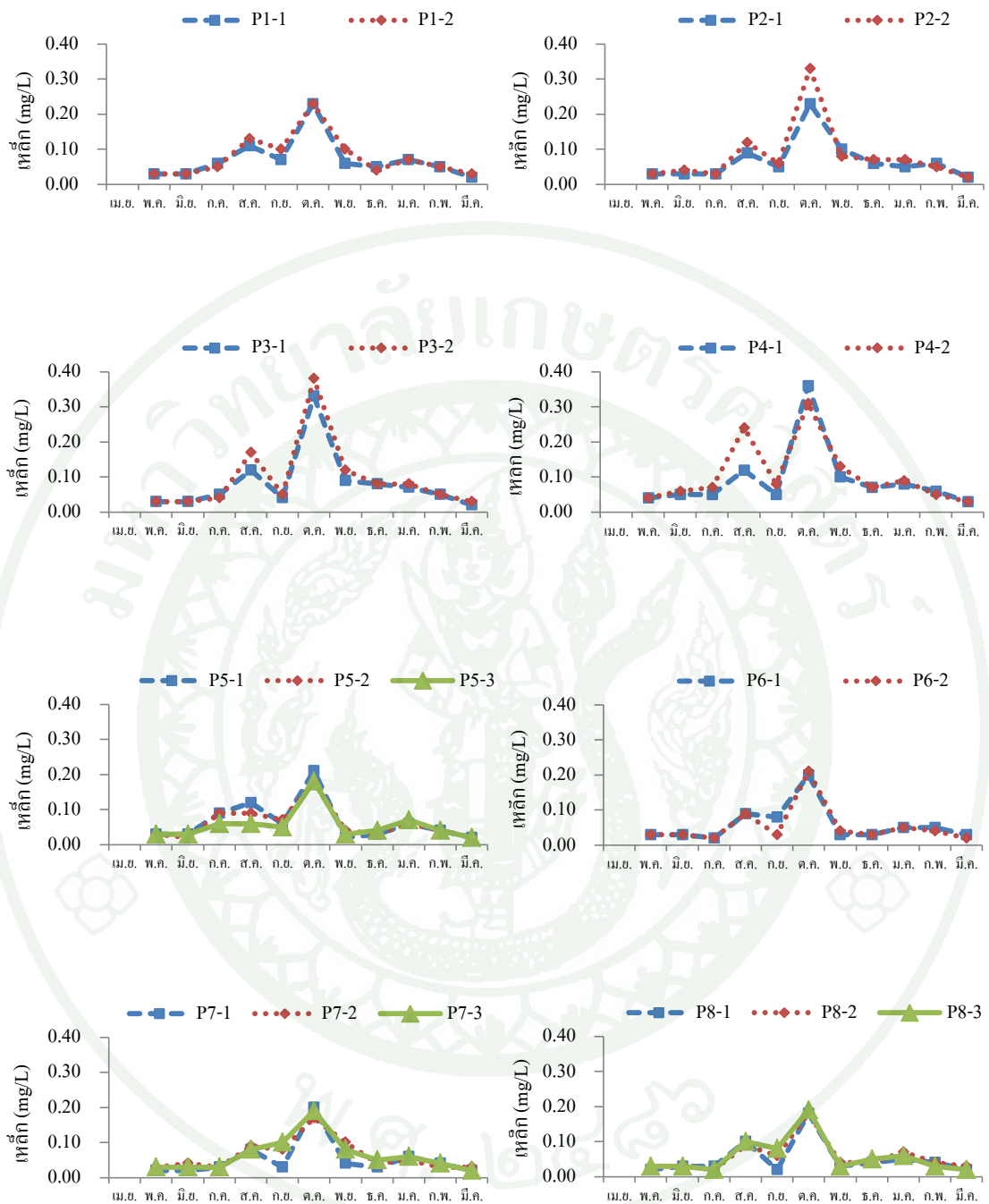
ภาพที่ 21 ปริมาณแอมโมเนียในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



ภาพที่ 22 ปริมาณไนเตรทในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



ภาพที่ 23 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน
เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557



ภาพที่ 24 ปริมาณเหล็กรวมในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 จุด ตั้งแต่เดือน เมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557

อัตราส่วนระหว่าง N:P

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารหลักที่สำคัญต่อพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Ryding (1988) พบว่า ค่า N:P เป็นค่าที่บ่งชี้ว่าสารอาหารใดเป็นปัจจัยกำหนดการเจริญเติบโต ถ้าอัตราส่วนมากกว่า 7 จะแสดงว่า ฟอสฟอรัสเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต (phosphorus limiting nutrient) แต่ถ้าอัตราส่วนน้อยกว่า 7 จะแสดงว่าไนโตรเจนเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต (nitrogen limiting nutrient)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง N:P ของอ่างเก็บน้ำบางพระในตารางที่ 9 ซึ่งค่า N เป็นผลรวมของแอมโมเนียและไนเตรท และ P เป็นค่าออร์โธฟอสเฟต พบว่าอัตราส่วนอยู่ในช่วง 3.3 ถึง 71.0 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลทำให้อัตราส่วนอยู่ในช่วงที่กว้างมาก จากค่า N:P ที่ได้ พบว่าในส่วนใหญ่ของแต่ละเดือนมีฟอสฟอรัสเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันของออร์โธฟอสเฟตและคลอโรฟิลล์ เอ ยกเว้นในเดือนสิงหาคมมีไนโตรเจนเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากในเดือนนี้ ฟอสฟอรัสเข้าสู่อ่างเก็บน้ำปริมาณมาก

การมีฟอสฟอรัสเข้าสู่อ่างเก็บน้ำปริมาณมากในช่วงเดือนสิงหาคม เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน ชาวไร่เริ่มทำการปลูกพืช เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง ในระยะแรกจึงต้องทำการใส่ปุ๋ยรองพื้นที่มีอัตราส่วน N-P-K : 16-20-0 และพืชจำพวกนี้เป็นพืชที่ต้องการการเจริญของราก ซึ่งฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างระบบรากให้เจริญเติบโตและแข็งแรง จึงพบมีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำสูงขึ้นมากในช่วงต้นฤดูฝน และเมื่อพืชเริ่มโตก็จะมีการปรับอัตราส่วนของปุ๋ยที่ใส่ เช่น 15-15-15, 16-20-20 และ 16-11-14 เป็นต้น อัตราส่วนของฟอสฟอรัสจึงมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก็เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การแพร่กระจายและการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายสอดคล้องกับปริมาณสารอาหารในอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้แสงแดด และฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดการเจริญเติบโตของสาหร่าย สิ่งที่พบในการศึกษานี้ คือ การที่สาหร่ายมีประชากรสูงในช่วงฤดูฝนกับต้นหนาว สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยในอ่างเก็บน้ำบางพระของ ศิริพงษ์ (2544),

ศิริพร และ นิสานถ (2550) และ Wang et al. (2002) การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละเดือนมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับออร์โธฟอสเฟตและแอมโมเนีย มากกว่าปัจจัยอื่น ๆ โดยปริมาณของสารอาหารเฉลี่ยที่มีในอ่างเก็บน้ำบางพระทุกช่วงเวลามีค่ามากกว่าความต้องการในการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ สาหร่ายต้องการปริมาณไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DIN) อยู่ 0.02 mgDIN/L และปริมาณฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DIP) อยู่ในช่วง 0.005 ถึง 0.010 mgDIP/L (Ryding, 1988) ดังนั้นอิทธิพลจากการผันแปรของสารอาหารจึงไม่ชัดเจนนัก

ตารางที่ 9 อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

Point	N:P										
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
P1-1	16.4	15.4	23.7	7.8	28.8	15.5	11.8	27.2	27.4	37.2	27.9
P1-2	19.2	15.4	11.4	6.2	24.2	16.3	17.4	17.7	40.6	39.0	24.4
P2-1	9.7	9.2	24.5	3.7	31.9	15.8	29.6	24.7	26.6	22.3	15.8
P2-2	9.2	9.9	9.3	4.8	21.7	13.4	30.8	21.4	22.9	25.1	24.4
P3-1	34.0	17.0	21.9	4.0	19.2	12.2	29.6	28.4	19.9	22.3	24.4
P3-2	23.0	17.7	28.1	4.0	22.7	10.2	16.8	24.1	24.9	31.8	32.5
P4-1	23.0	21.9	18.6	5.2	22.5	20.4	26.9	18.5	24.7	24.2	21.7
P4-2	17.1	10.5	16.0	8.0	19.6	17.0	71.0	13.8	24.7	21.7	36.3
P5-1	16.4	31.3	13.3	7.8	26.9	19.5	32.5	15.6	34.0	25.1	24.4
P5-2	22.3	41.4	33.1	7.7	28.3	16.7	22.7	32.9	24.7	22.3	21.7
P5-3	28.3	29.6	18.4	9.9	14.2	19.2	43.4	48.3	22.7	19.4	22.3
P6-1	19.4	19.4	11.8	4.9	23.0	16.3	12.2	15.8	22.2	27.9	24.4
P6-2	16.4	22.7	20.7	3.3	18.2	15.2	17.7	21.0	20.5	27.9	28.7
P7-1	12.9	14.0	14.8	5.9	22.3	15.5	32.5	9.8	27.2	24.4	21.7
P7-2	14.2	14.5	24.6	5.1	25.9	14.5	36.3	15.4	23.7	25.1	24.4
P7-3	17.0	20.0	21.1	3.9	18.2	16.5	50.9	24.5	22.2	19.4	31.8
P8-1	17.7	18.5	13.3	8.4	25.9	18.9	19.5	17.3	20.5	28.7	36.3
P8-2	20.3	18.5	15.4	5.7	17.2	17.0	28.9	29.6	19.6	19.4	40.2
P8-3	15.8	15.8	14.0	5.2	16.4	19.5	43.4	25.6	17.7	27.9	32.5

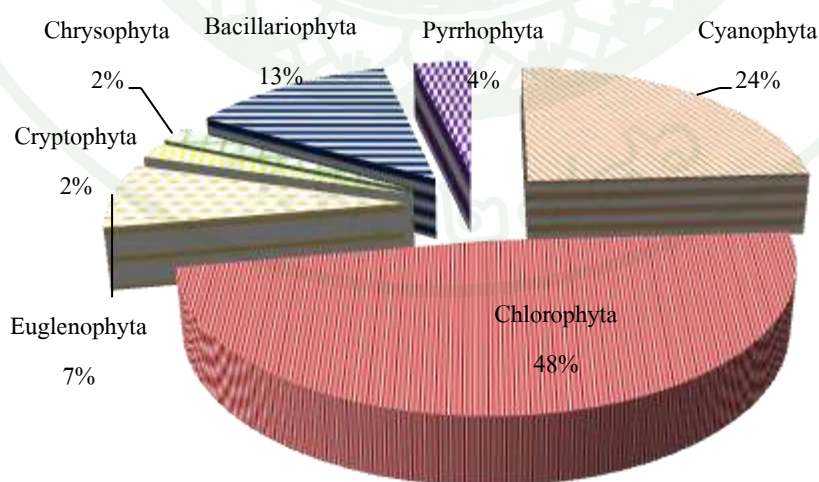
* หมายเหตุ ในเดือนเมษายนไม่ได้ทำการวิเคราะห์ไนเตรทและแอมโมเนีย

3. การศึกษาความหลากหลายของสาหร่าย

การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระศึกษา 2 ทาง คือ ทางสัณฐานวิทยา (Morphological identification) โดยวิธี Direct Microscopic Examination และทางอณูวิทยา (Molecular identification) โดยวิธี PCR-DGGE

3.1 การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายทางสัณฐานวิทยา (Morphological identification) โดยวิธี Direct Microscopic Examination

จากการสำรวจความหลากหลายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระระหว่างเดือนเมษายน 2557 ถึง มีนาคม 2557 โดยนำน้ำตัวอย่างมาตกตะกอนเซลล์สาหร่าย แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ตรวจพบสาหร่ายหลากหลายสายพันธุ์ ภาพที่ 25 แสดงสัดส่วนของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระที่จัดจำแนกหมวดหมู่ตามสัณฐานวิทยา โดยระบบอนุกรมวิธานของ Bold and Wynne (1978) โดยพบสาหร่ายทั้งหมด 7 หมวด 54 สกุล (ตารางที่ 10) โดยกลุ่มที่มีจำนวนชนิดของสาหร่ายสูงที่สุดคือหมวด Chlorophyta พบ 26 สกุล คิดเป็น 48% ของสกุลของสาหร่ายทั้งหมด รองลงมาคือหมวด Cyanophyta พบ 13 สกุล คิดเป็น 24% หมวด Euglenophyta พบ 4 สกุล คิดเป็น 7% หมวด Bacillariophyta พบ 7 สกุล คิดเป็น 13% หมวด Cryptophyta พบ 1 สกุล คิดเป็น 2% หมวด Chrysophyta พบ 1 สกุล คิดเป็น 2% และหมวด Pyrrophyta พบ 2 สกุล คิดเป็น 4%



ภาพที่ 25 สัดส่วน (ร้อยละ) จำนวนสกุล (genus) ของสาหร่ายแต่ละหมวดที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระ ระหว่างเดือนเมษายน 2556 ถึง เดือนมีนาคม 2557

ตารางที่ 10 แสดงการจัดจำแนกสกุลของสาหร่ายที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระ

Division	Order	Family	Genus	
Cyanophyta	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	
			<i>Coelomoron</i>	
			<i>Aphanothece</i>	
		Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	
		Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	
	Nostocales	Nostocaceae		<i>Anabaena</i>
				<i>Cylindrospermopsis</i>
				<i>Nostoc</i>
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae		<i>Oscillatoria</i>
				<i>lyngbya</i>
		Pseudanabaenaceae		<i>Pseudanabaena</i>
				<i>Spirulina</i>
	Synechococcales	Synechococcaceae	<i>Synechococcus</i>	
	Chlorophyta	Chlorococcales	Hydrodictyceae	<i>Pediastrum</i>
Oocystaceae			<i>Chorella</i>	
			<i>Didymocystis</i>	
			<i>Nephrocytium</i>	
			<i>Oocystis</i>	
		Scenedesmaceae	<i>Actinastrum</i>	
			<i>Coelastrum</i>	
			<i>Crucigeniella</i>	
			<i>Dictyosphaerium</i>	
			<i>Scenedesmus</i>	
	Micractiniaceae	<i>Micractinium</i>		

ตารางที่ 10 (ต่อ)

Division	Order	Family	Genus
	Klebsormidiales	Elakatotrichaceae	<i>Elakatothrix</i>
	Sphaeropleales	Neochloridaceae	<i>Golenkinia</i>
		Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i>
			<i>Monoraphidium</i>
			<i>Kirchneriella</i>
	Volvocales	Chlamdomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>
		Volvocaceae	<i>Eudorina</i>
			<i>Gonium</i>
			<i>Pandorina</i>
			<i>Volvox</i>
	Zygnematales	Desmidiaceae	<i>Closterium</i>
			<i>Cosmarium</i>
			<i>Desmidiaceae</i>
			<i>Staurastrum</i>
			<i>Stauroidesmus</i>
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i>
			<i>Strombomonas</i>
			<i>Euglena</i>
			<i>Phacus</i>
Chrysophyta	Heterococcales	Chlorotheciaceae	<i>Isthmochloron</i>
Bacillariophyta	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>
		Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>

ตารางที่ 10 (ต่อ)

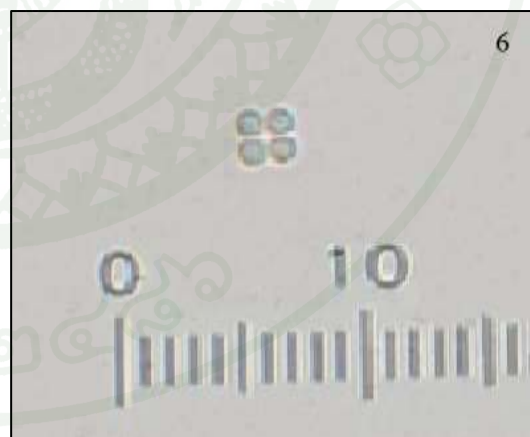
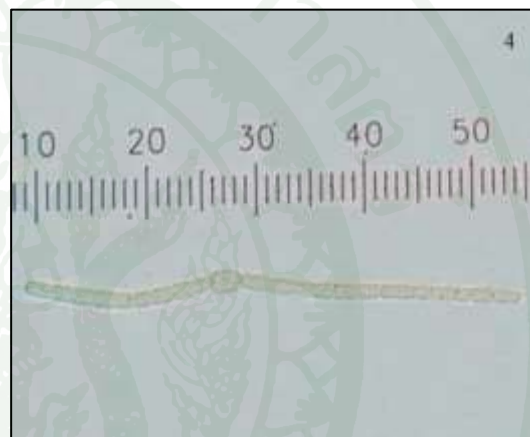
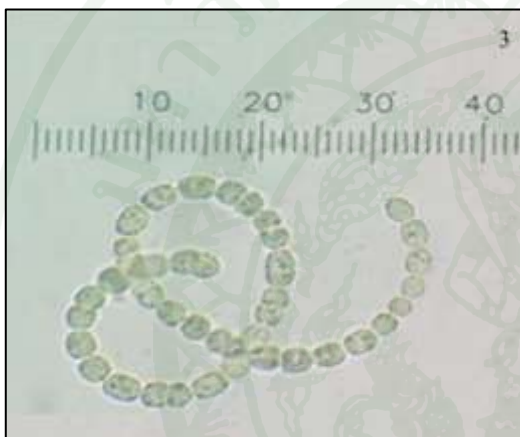
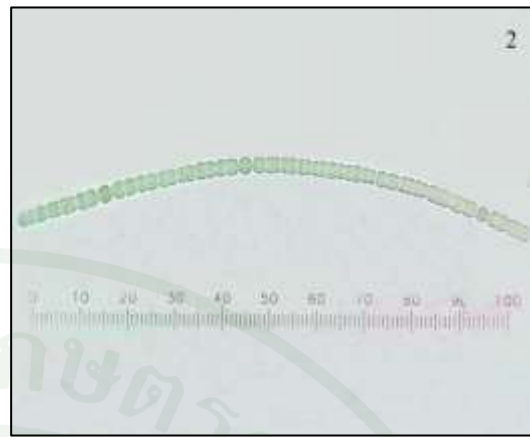
Division	Order	Family	Genus
		Fragilariaceae	<i>Synedra</i>
		Surirellaceae	<i>Surirella</i>
	Biddulphiales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>
		Biddulphiaceae	<i>Cyclotella</i>
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>
Pyrrhophyta	Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Ceratium</i>
	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>
Cryptophyta	Pyrenomonadales	Pyrenomonadaceae	<i>Rhodomonas</i>

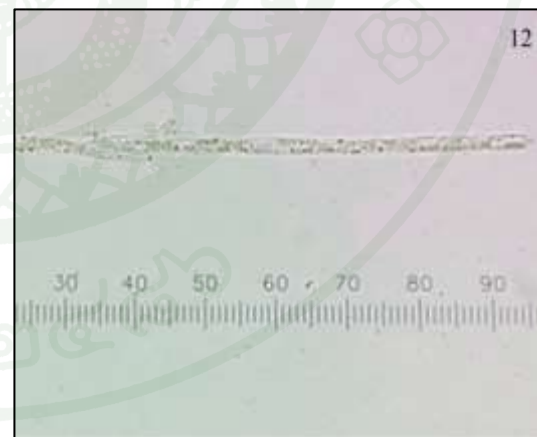
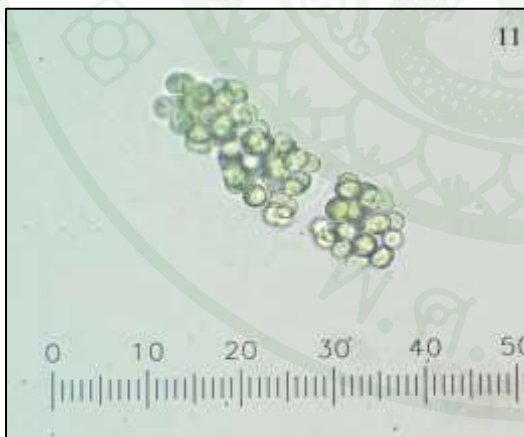
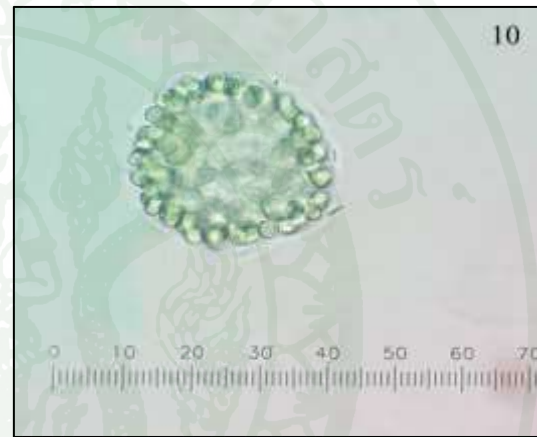
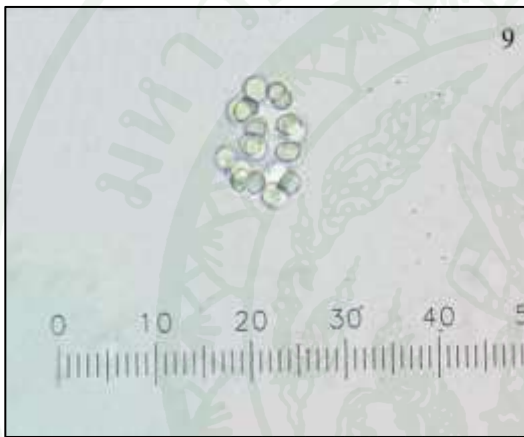
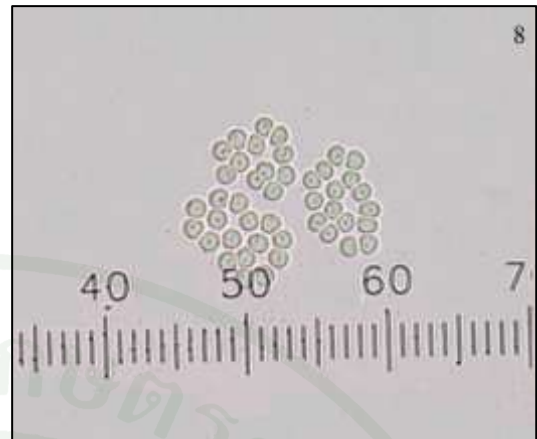
จากการศึกษาครั้งนี้พบจำนวนสกุลของสาหร่ายในหมวด Chlorophyta มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดอื่น ๆ เช่น การศึกษาในอ่างเก็บน้ำบางพระของ ศิริพงษ์ (2544) การศึกษาในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา ของ ยวดี และ คณะ (2551) การศึกษาในอ่างเก็บน้ำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ จังหวัดลำพูนของพิชญ (2552) และการศึกษาในบึงบอระเพ็ดของไพริน (2555) ซึ่งพบจำนวนสกุลของสาหร่ายในหมวด Chlorophyta มากสุดเช่นกัน ทั้งนี้ในการศึกษานี้พบว่าความหลากหลายของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือน โดยจะพบสาหร่ายหมวด Bacillariophyta มีปริมาณมากกว่าหมวดอื่นในช่วงฤดูร้อน แต่พบสาหร่ายหมวด Cyanophyta ปริมาณมากในช่วงฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาว

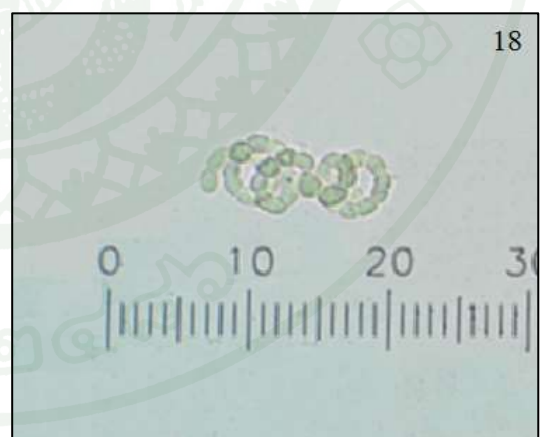
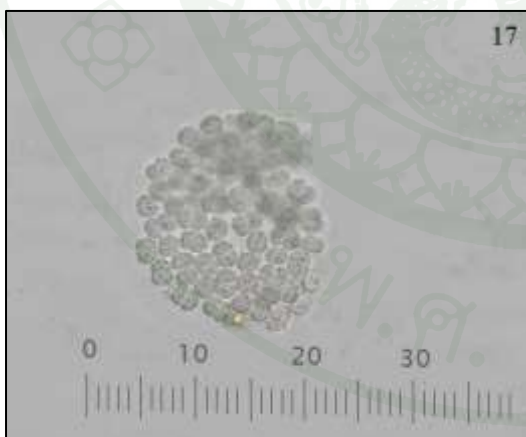
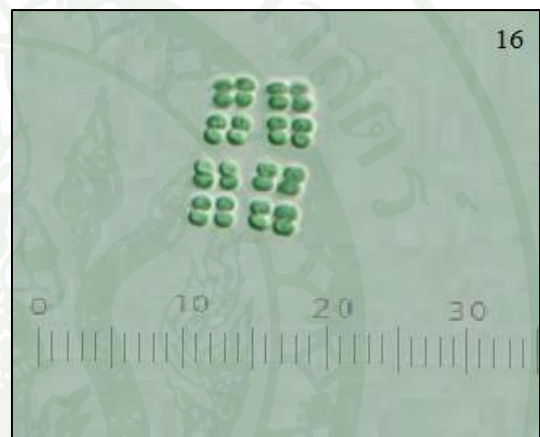
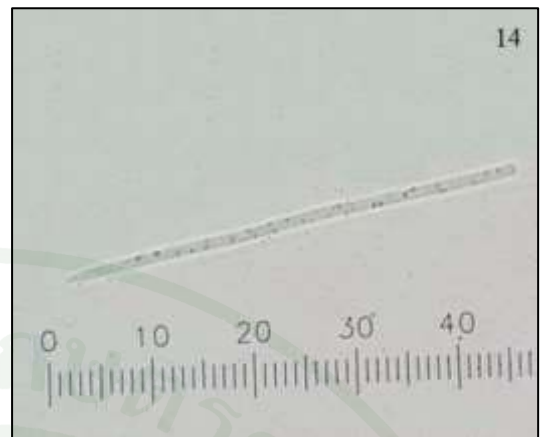
ภาพถ่ายของสาหร่ายแต่ละหมวดหมู่ที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง เดือนมีนาคม 2557 แสดงดังภาพที่ 26 ถึง 32

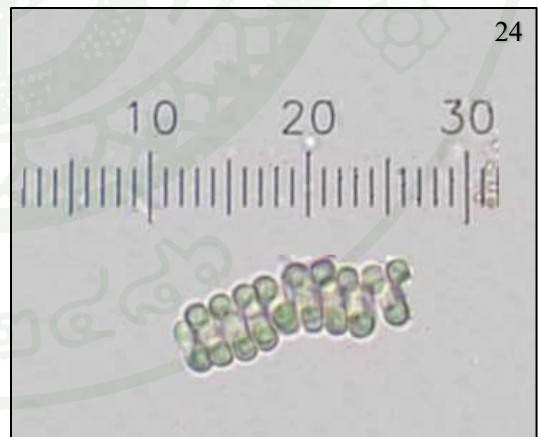
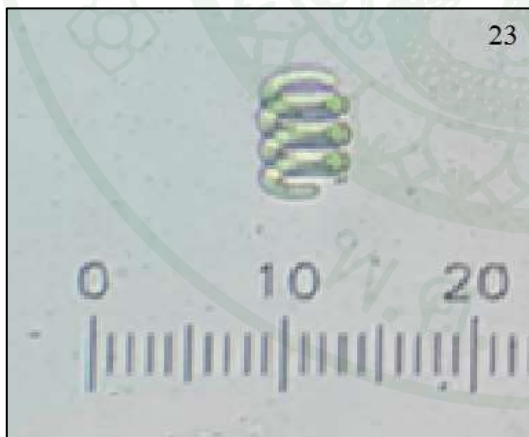
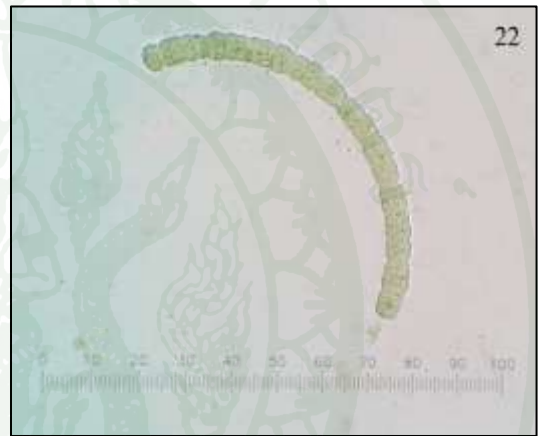
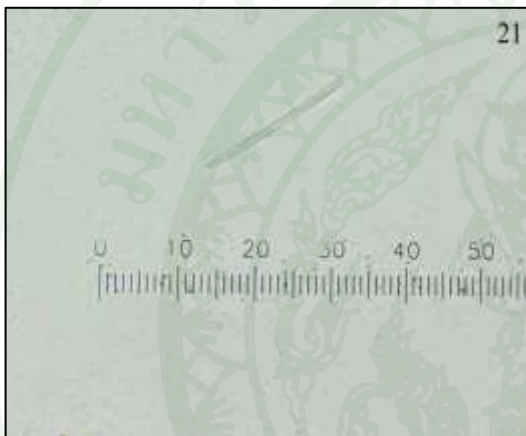
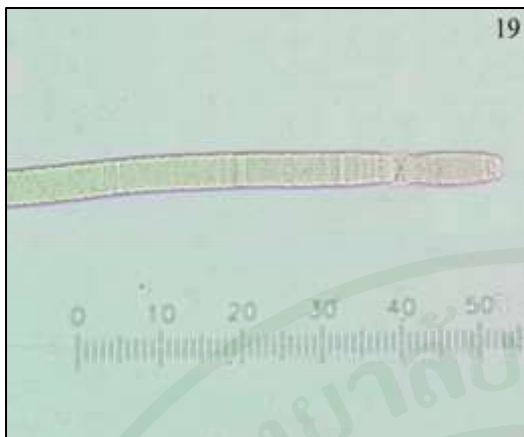
ภาพที่ 26 หมวด Cyanophyta

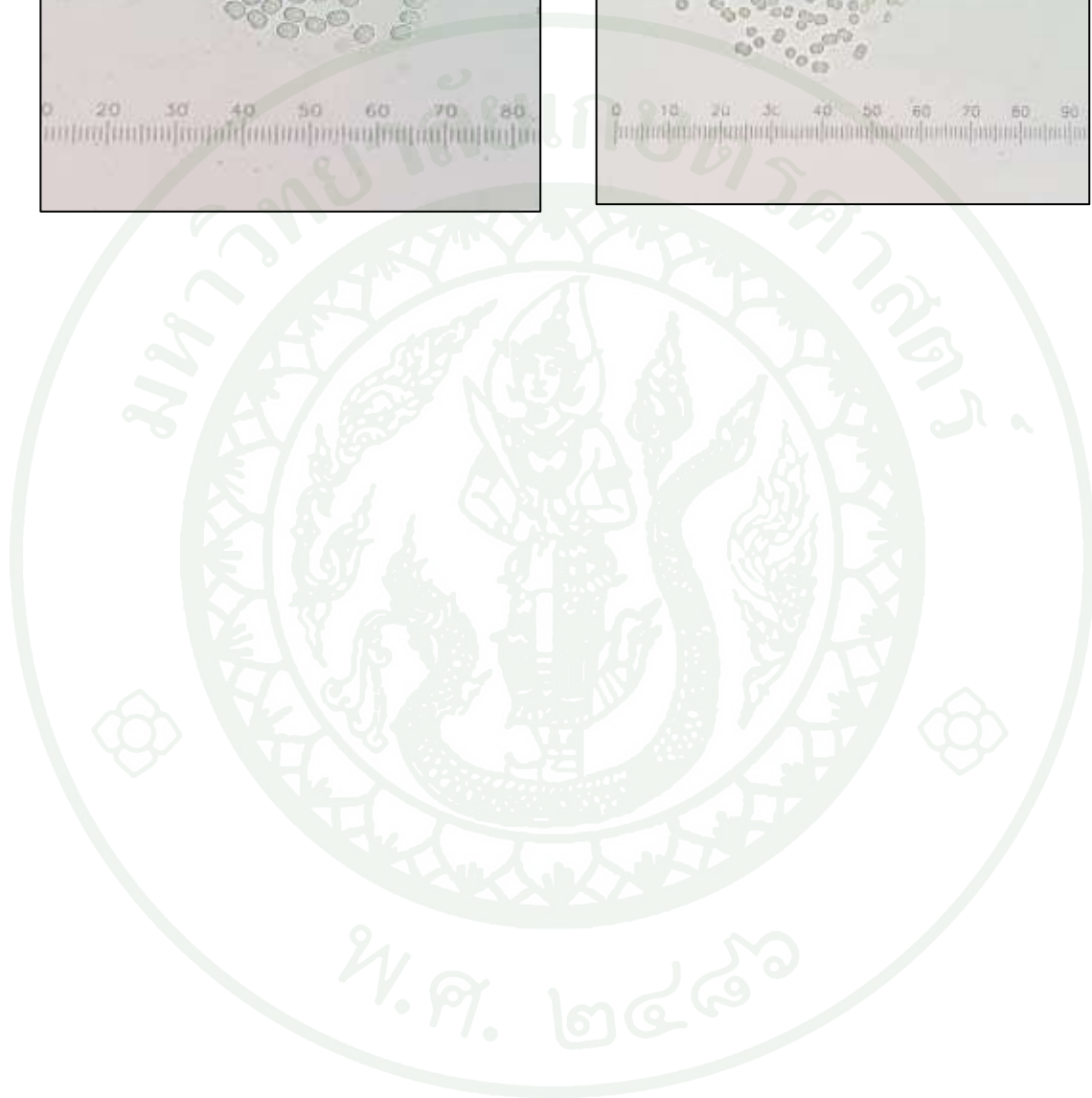
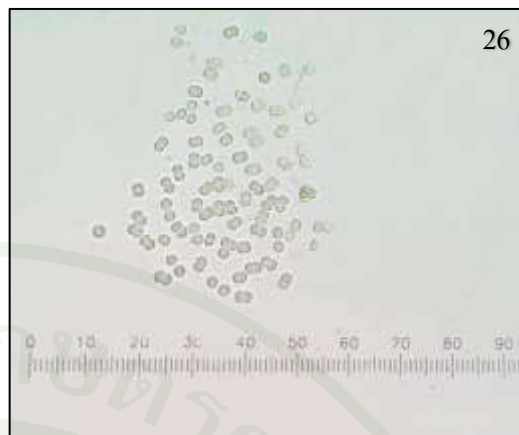
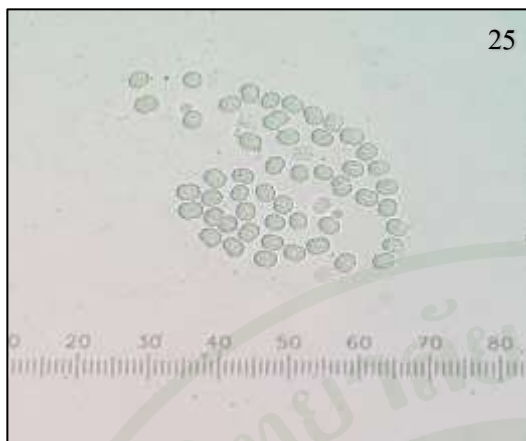
- | | |
|--|--|
| 1. <i>Anabaena</i> sp.1 (40x) | 2. <i>Anabaena</i> sp.2 (40x) |
| 3. <i>Anabaena</i> sp.3 (40x) | 4. <i>Anabaena</i> sp.4 (40x) |
| 5. <i>Aphanothece</i> sp. (40x) | 6. <i>Chroococcus</i> sp.1 (40x) |
| 7. <i>Chroococcus</i> sp.2 (40x) | 8. <i>Coelomoron</i> sp.1 (40x) |
| 9. <i>Coelomoron</i> sp.2 (40x) | 10. <i>Coelomoron</i> sp.3 (40x) |
| 11. <i>Coelomoron</i> sp.4 (40x) | 12. <i>Cylindrospermopsis</i> sp.1 (40x) |
| 13. <i>Cylindrospermopsis</i> sp.1 (40x) | 14. <i>Cylindrospermopsis</i> sp.2 (40x) |
| 15. <i>lyngbya</i> sp. (40x) | 16. <i>Merismopedia</i> sp. (40x) |
| 17. <i>Microcystis</i> sp. (40x) | 18. <i>Nostoc</i> sp. (40x) |
| 19. <i>Oscillatoria</i> sp.1 (40x) | 20. <i>Oscillatoria</i> sp.2 (40x) |
| 21. <i>Pseudanabaena</i> sp.1 (40x) | 22. <i>Pseudanabaena</i> sp.2 (40x) |
| 23. <i>Spirulina</i> sp.1 (40x) | 24. <i>Spirulina</i> sp.2 (40x) |
| 25. <i>Synechococcus</i> sp.1 (40x) | 26. <i>Synechococcus</i> sp.2 (40x) |





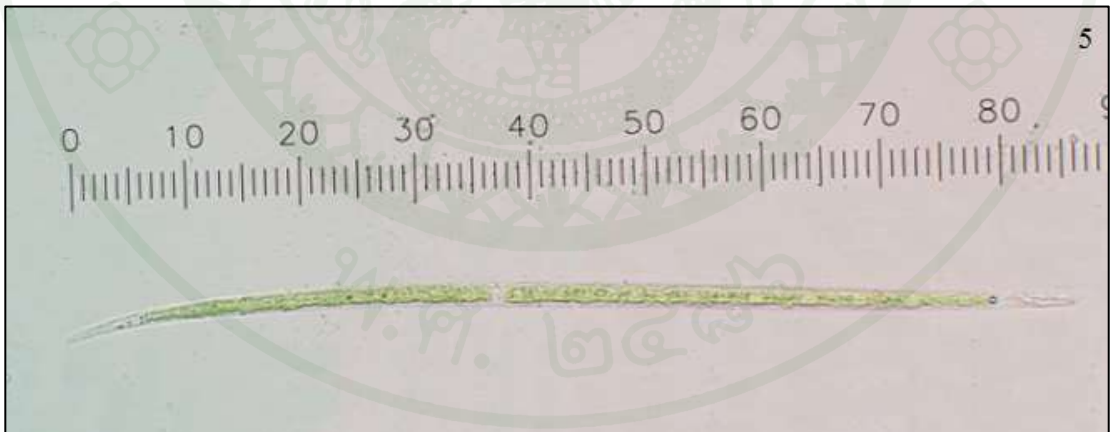
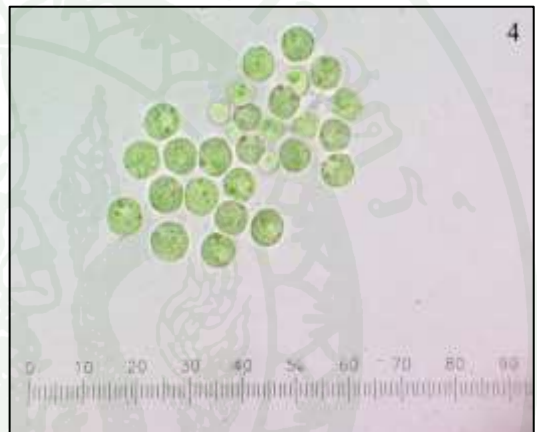


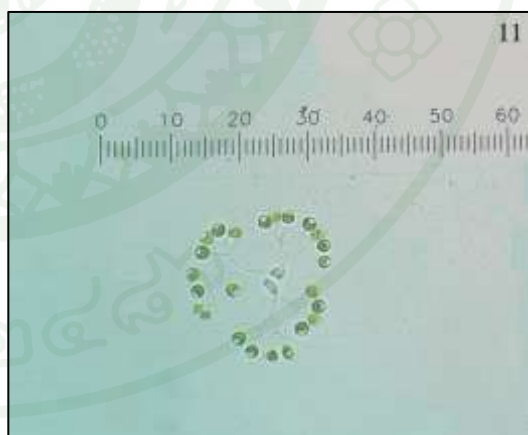
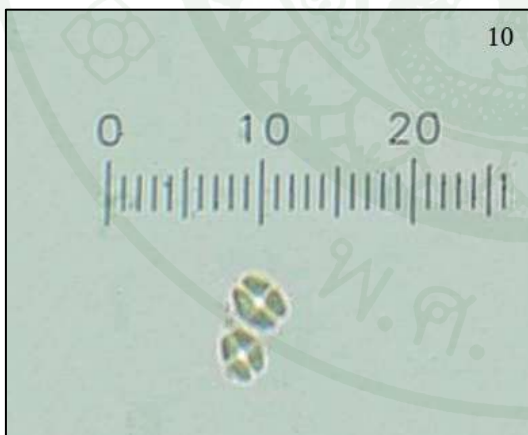
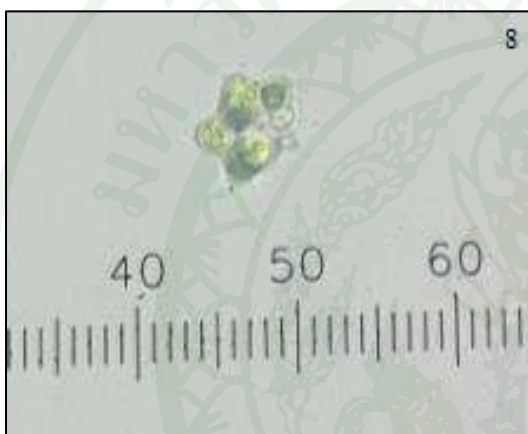


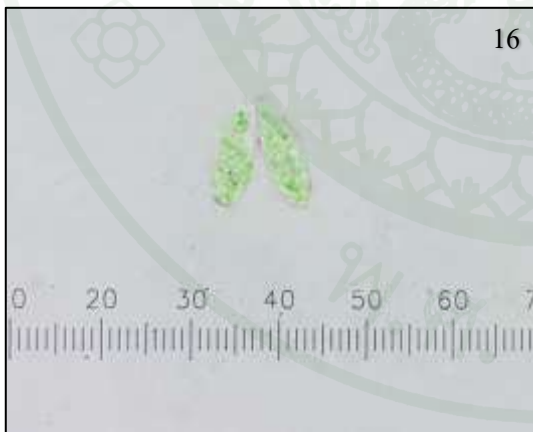
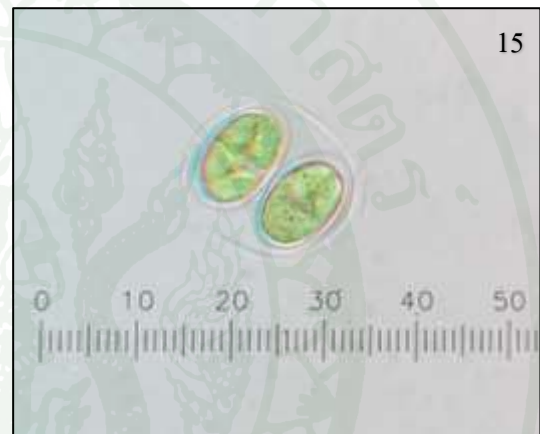
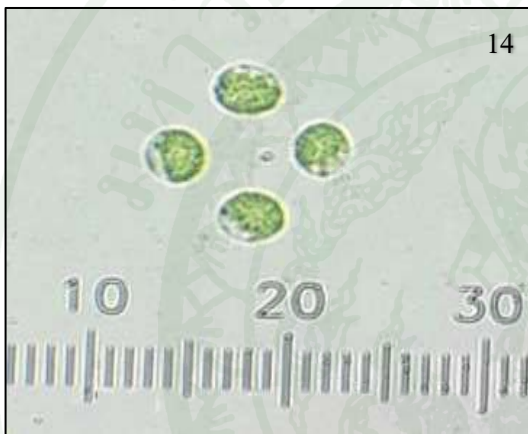
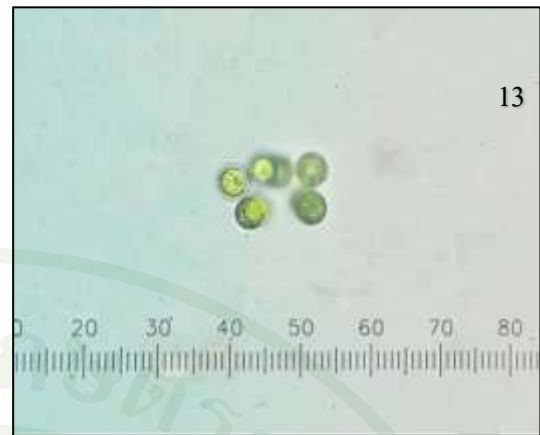


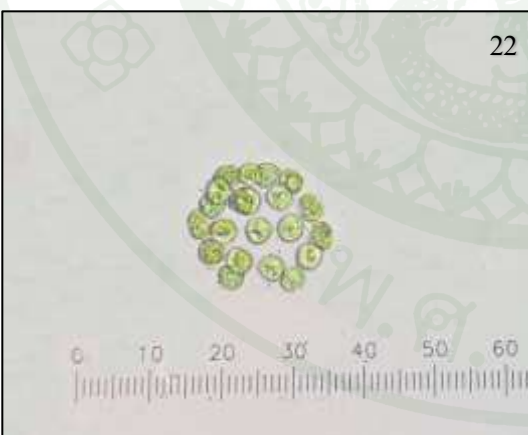
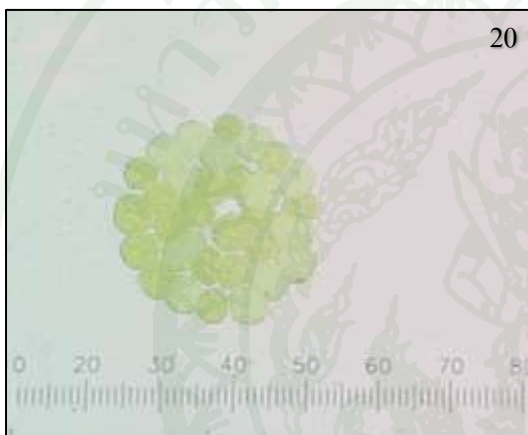
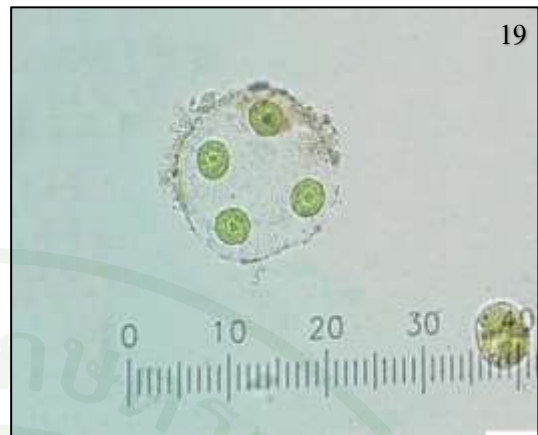
ภาพที่ 27 หมวด Chlorophyta

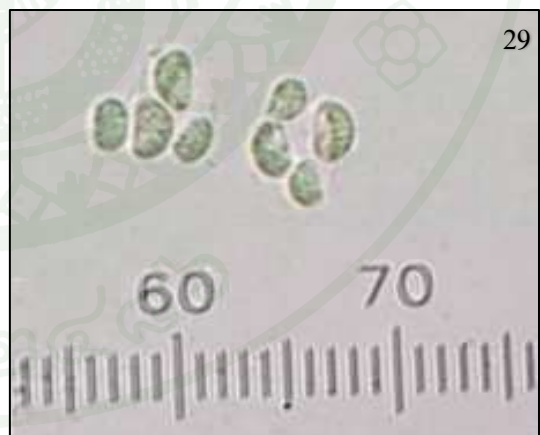
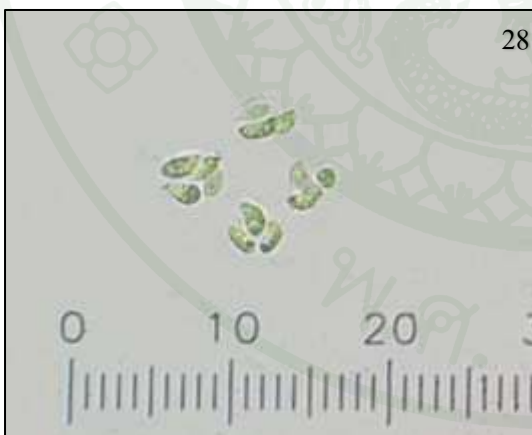
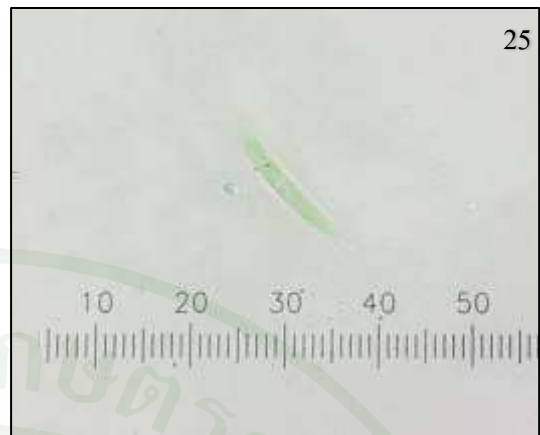
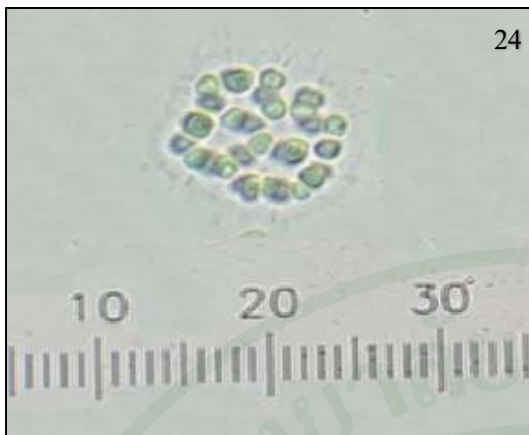
- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. <i>Actinastrum</i> sp. (40x) | 2. <i>Ankistrodesmus</i> sp. (40x) |
| 3. <i>Chlamydomonas</i> sp. (40x) | 4. <i>Chorella</i> sp. (40x) |
| 5. <i>Closterium</i> sp.1 (40x) | 6. <i>Closterium</i> sp.2 (40x) |
| 7. <i>Closterium</i> sp.3 (40x) | 8. <i>Coelastrum</i> sp. (40x) |
| 9. <i>Cosmarium</i> sp. (40x) | 10. <i>Crucigeniella</i> sp. (40x) |
| 11. <i>Dictyosphaerium</i> sp.1 (40x) | 12. <i>Dictyosphaerium</i> sp.2 (40x) |
| 13. <i>Dictyosphaerium</i> sp.3 (40x) | 14. <i>Dictyosphaerium</i> sp.4 (40x) |
| 15. <i>Didymocystis</i> sp.5 (100x) | 16. <i>Elakatothrix</i> sp.1 (100x) |
| 17. <i>Elakatothrix</i> sp.2 (40x) | 18. <i>Euastrum</i> sp. (40x) |
| 19. <i>Eudorina</i> sp.1 (40x) | 20. <i>Eudorina</i> sp.2 (40x) |
| 21. <i>Golenkinia</i> sp. (40x) | 22. <i>Gonium</i> sp. (40x) |
| 23. <i>Kirchneriella</i> sp. (40x) | 24. <i>Micractinium</i> sp. (40x) |
| 25. <i>Monoraphidium</i> sp. (100x) | 26. <i>Nephrocytium</i> sp.1 (40x) |
| 27. <i>Nephrocytium</i> sp.2 (40x) | 28. <i>Oocystis</i> sp.1 (40x) |
| 29. <i>Oocystis</i> sp.2 (40x) | 30. <i>Pandorina</i> sp. (40x) |
| 31. <i>Pediastrum</i> sp. (40x) | 32. <i>Scenedesmus</i> sp. (40x) |
| 33. <i>Staurastrum</i> sp.1 (40x) | 34. <i>Staurastrum</i> sp.2 (40x) |
| 35. <i>Staurastrum</i> sp.3 (40x) | 36. <i>Staurastrum</i> sp.4 (40x) |
| 37. <i>Staurastrum</i> sp.5 (40x) | 38. <i>Staurastrum</i> sp.6 (40x) |
| 39. <i>Staurastrum</i> sp.7 (40x) | 40. <i>Staurodesmus</i> sp. (40x) |
| 41. <i>Volvox</i> sp. (40x) | |

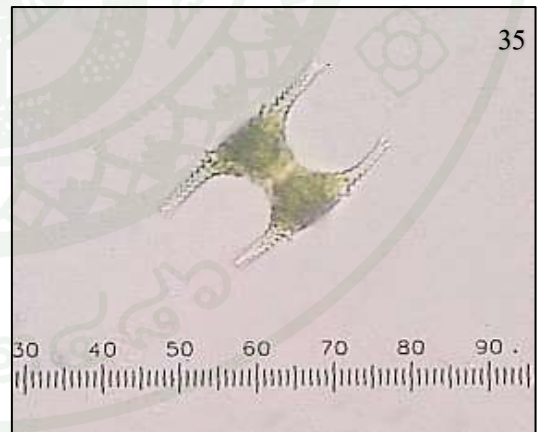
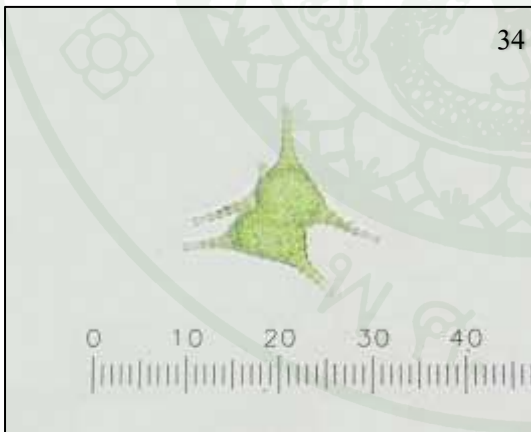
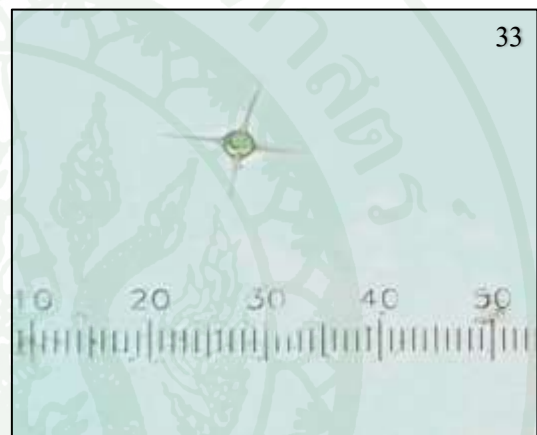
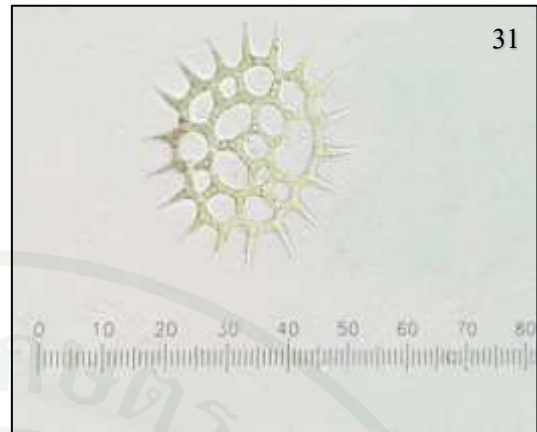


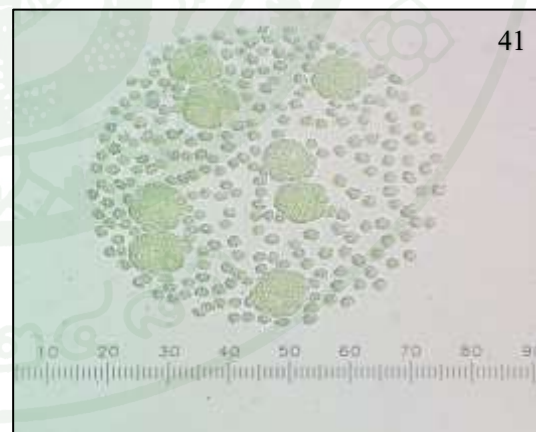
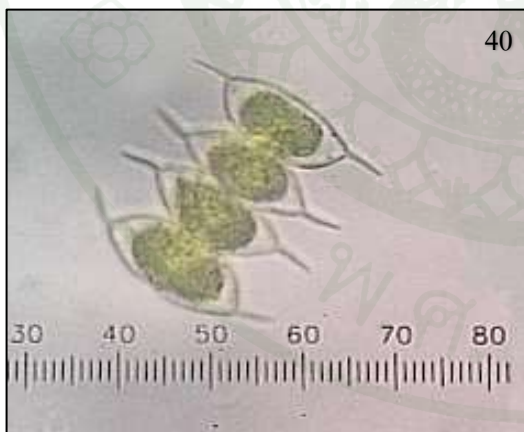
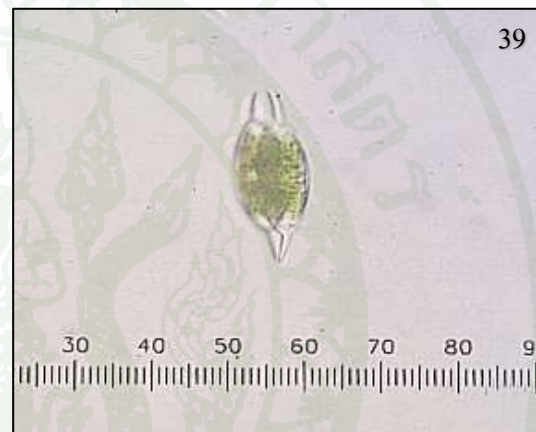
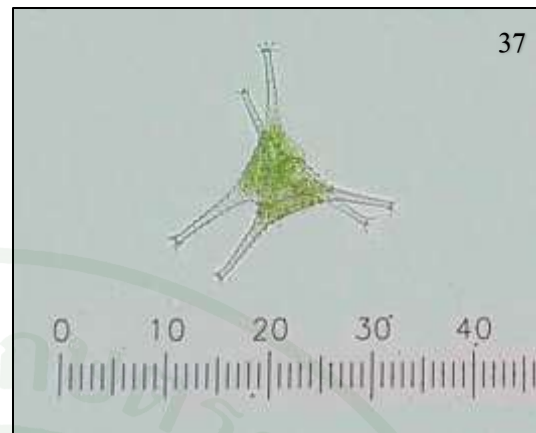
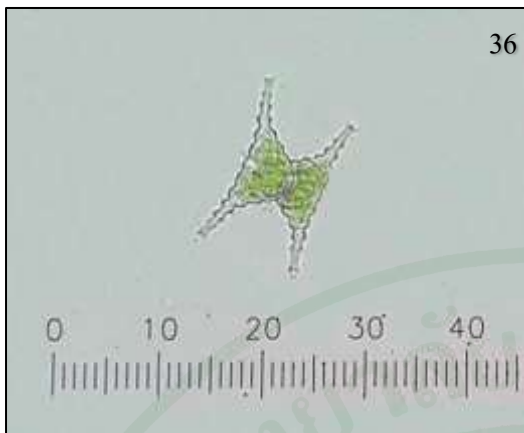






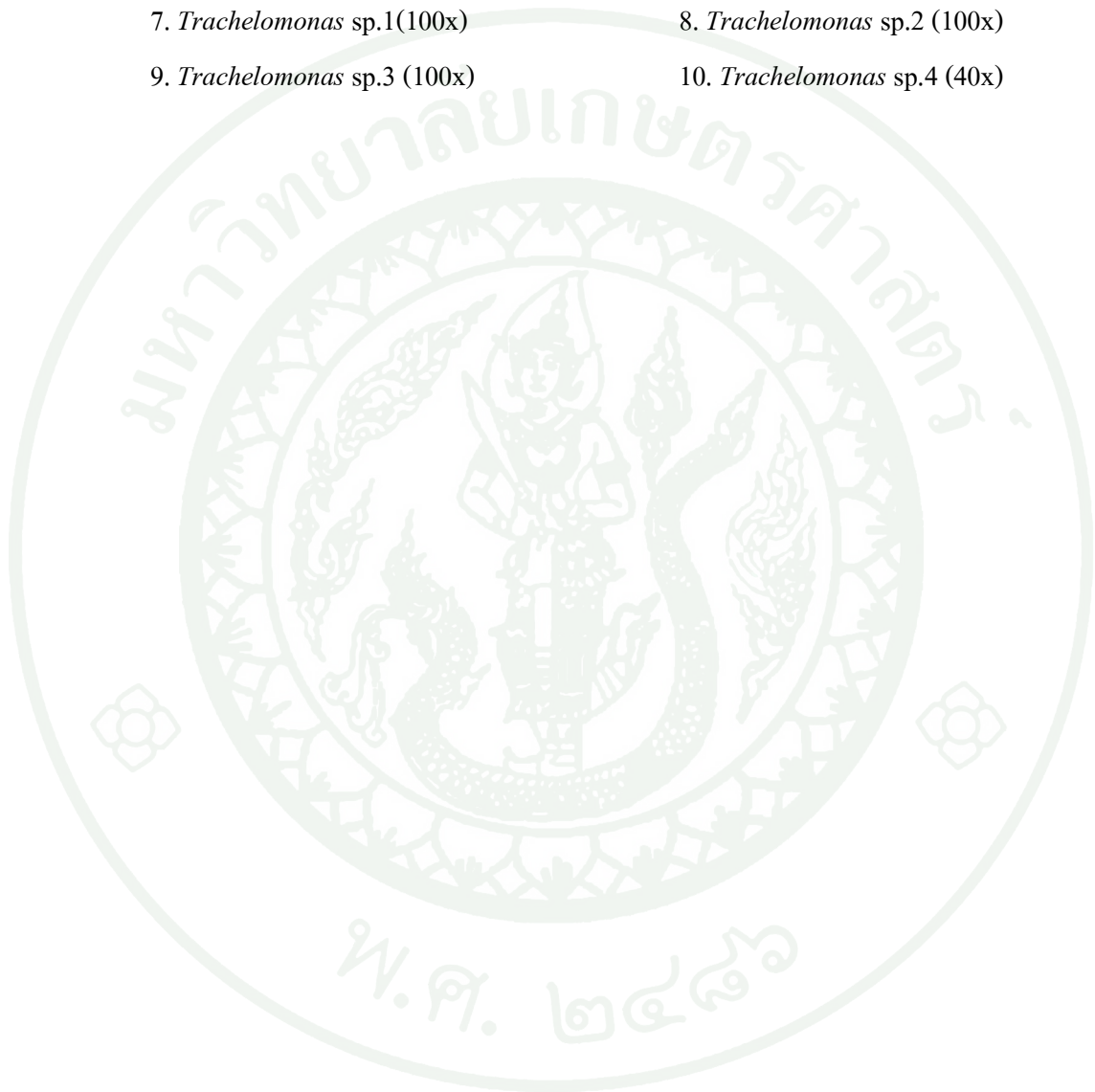


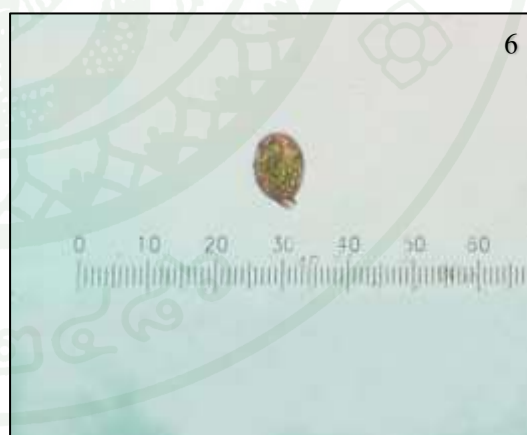
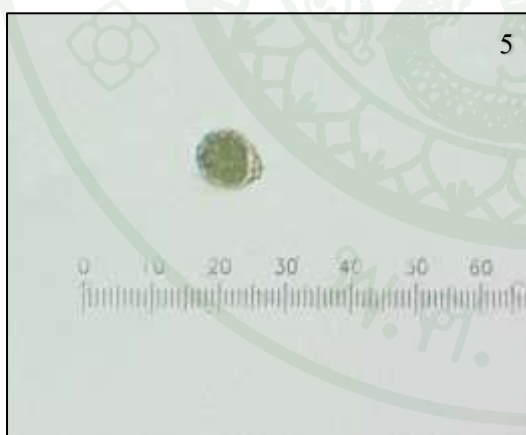
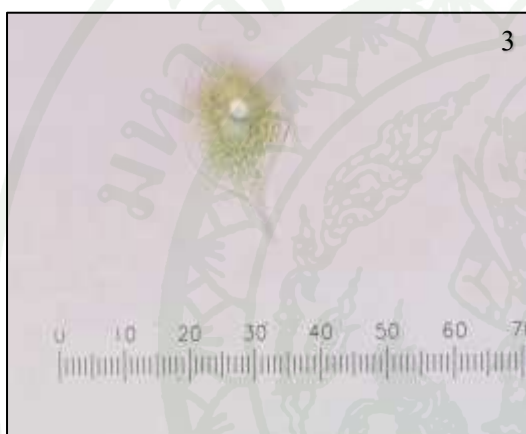
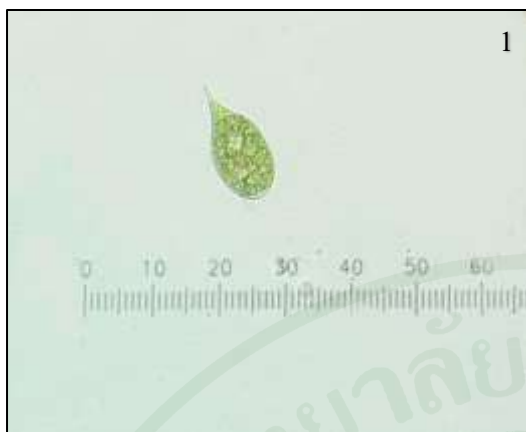


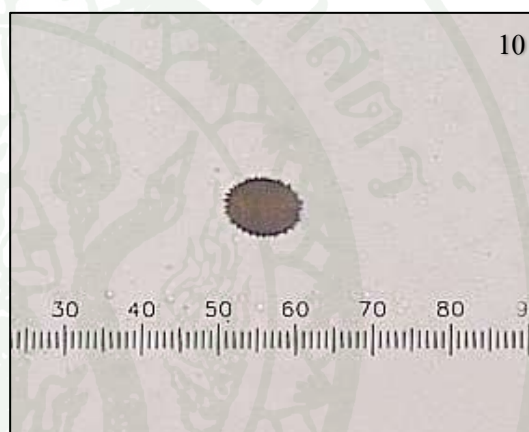
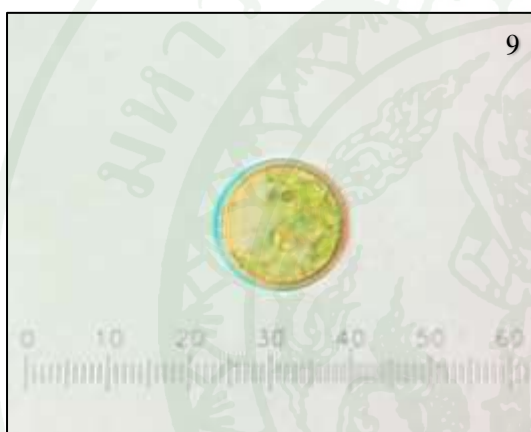
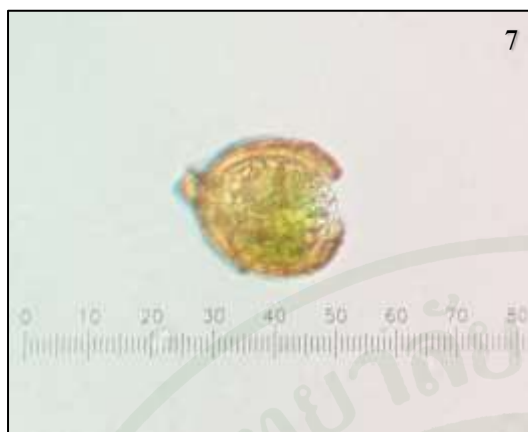


ภาพที่ 28 หมวด Euglenophyta

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. <i>Euglena</i> sp.1 (40x) | 2. <i>Euglena</i> sp.2 (40x) |
| 3. <i>Phacus</i> sp. (40x) | 4. <i>Strombomonas</i> sp.1 (40x) |
| 5. <i>Strombomonas</i> sp.2 (40x) | 6. <i>Strombomonas</i> sp.3 (40x) |
| 7. <i>Trachelomonas</i> sp.1(100x) | 8. <i>Trachelomonas</i> sp.2 (100x) |
| 9. <i>Trachelomonas</i> sp.3 (100x) | 10. <i>Trachelomonas</i> sp.4 (40x) |



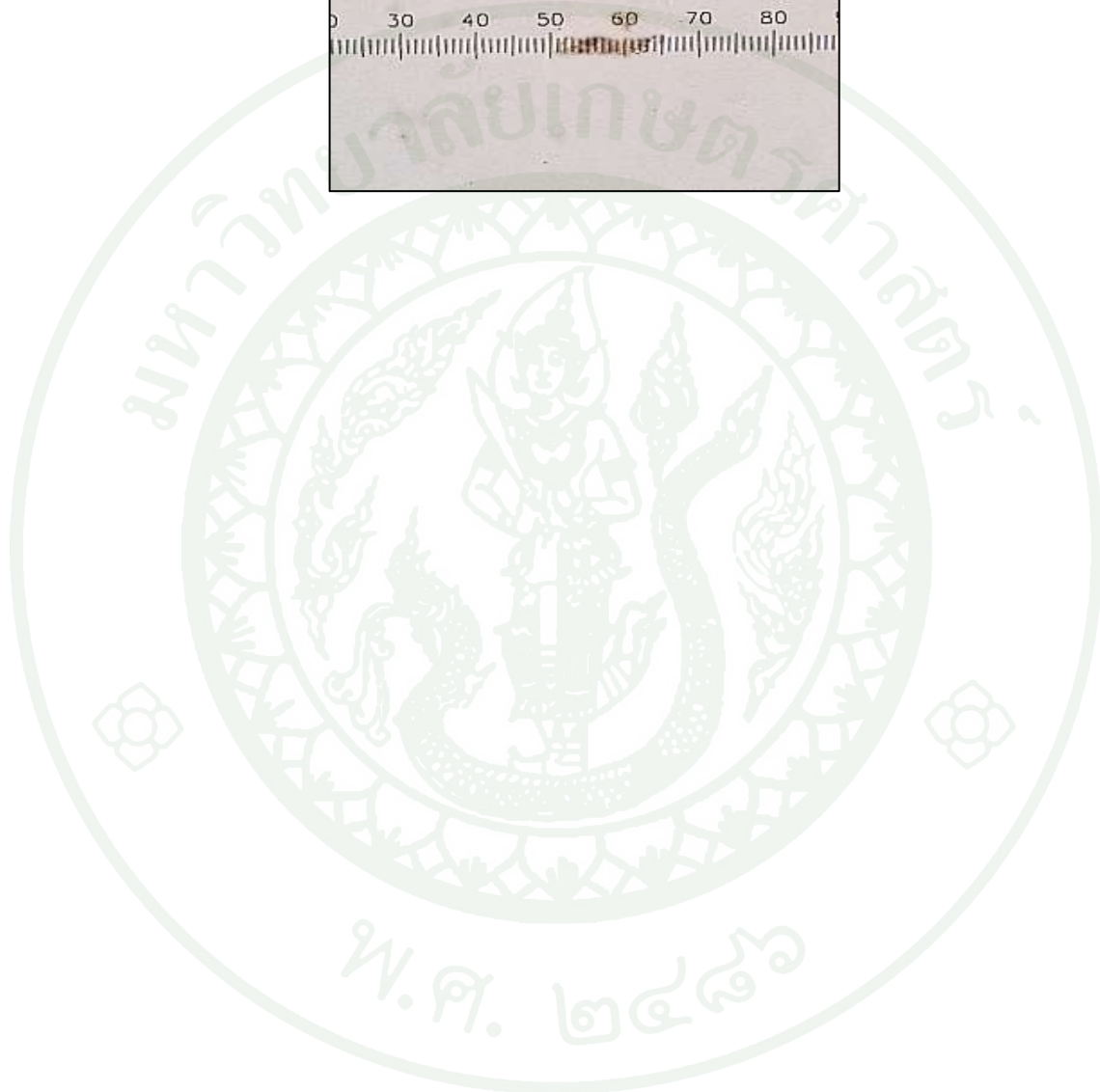




ภาพที่ 29 หมวด Chrysophyta

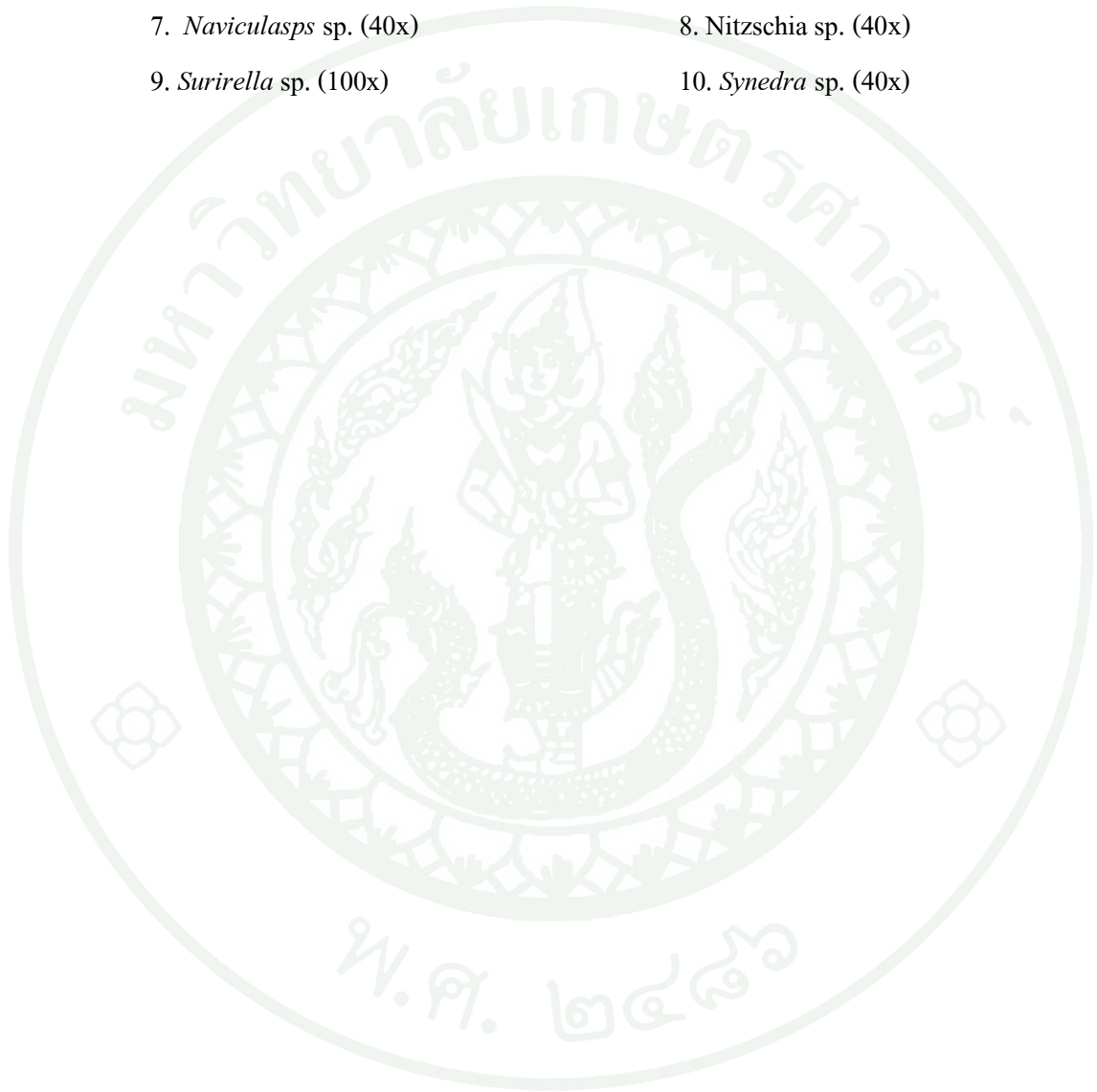
1. *Isthmochloron* sp. (40x)

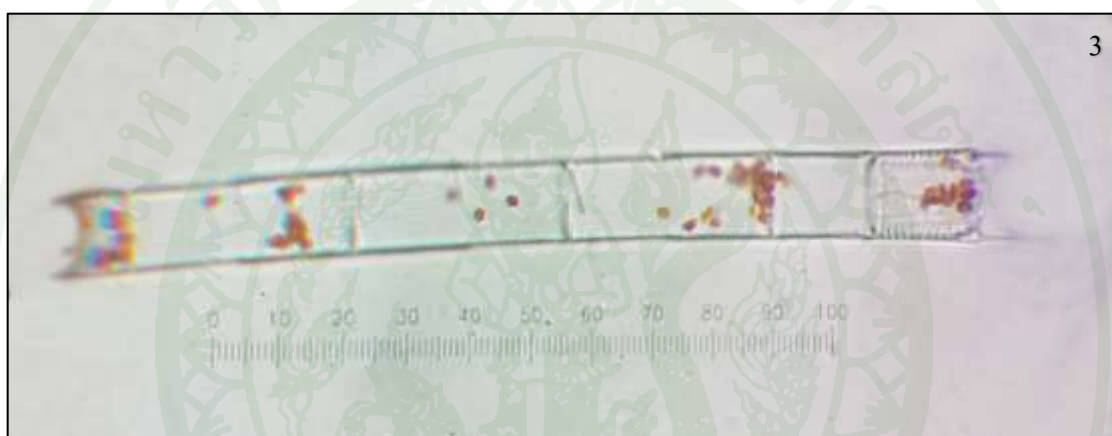
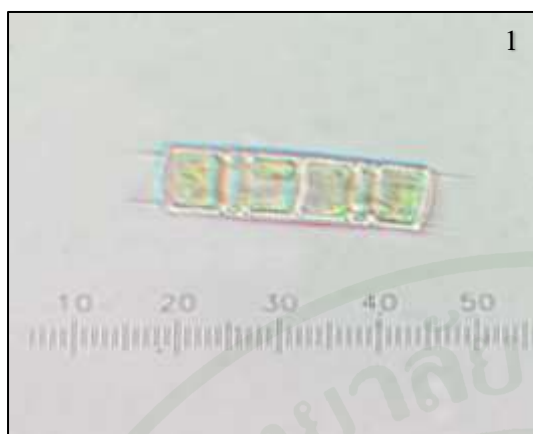


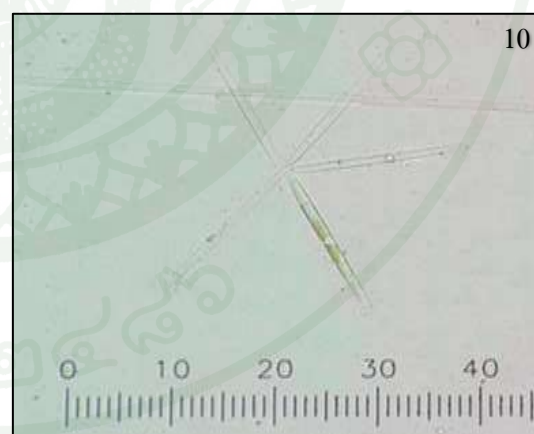
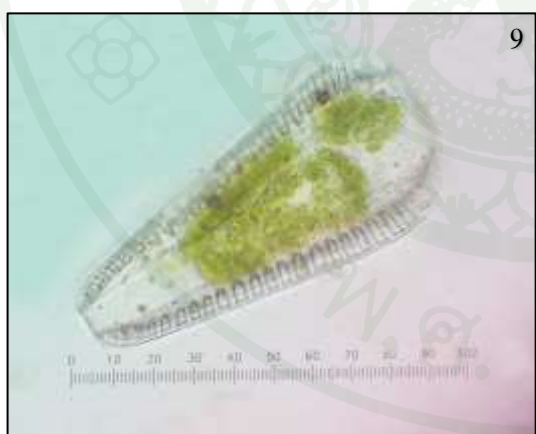
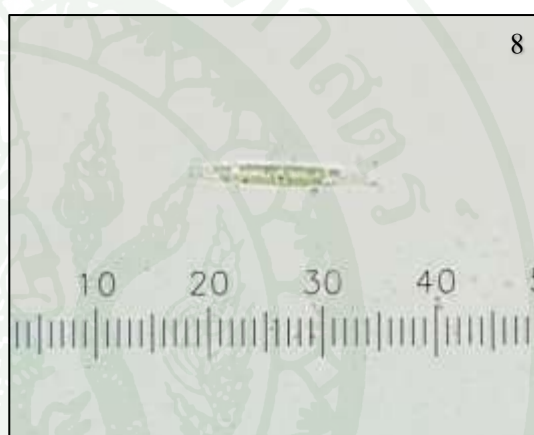
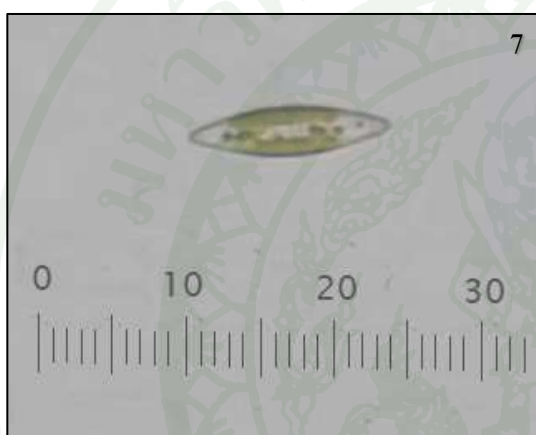


ภาพที่ 30 หมวด Bacillariophyta

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Aulacoseira</i> sp.1 (100x) | 2. <i>Aulacoseira</i> sp.2 (40x) |
| 3. <i>Aulacoseira</i> sp.3 (100x) | 4. <i>Aulacoseira</i> sp.4 (40x) |
| 5. <i>Cyclotella</i> sp. (40x) | 6. <i>Cymbella</i> sp (40x) |
| 7. <i>Naviculasps</i> sp. (40x) | 8. <i>Nitzschia</i> sp. (40x) |
| 9. <i>Surirella</i> sp. (100x) | 10. <i>Synedra</i> sp. (40x) |







ภาพที่ 31 หมวด Pyrrhophyta

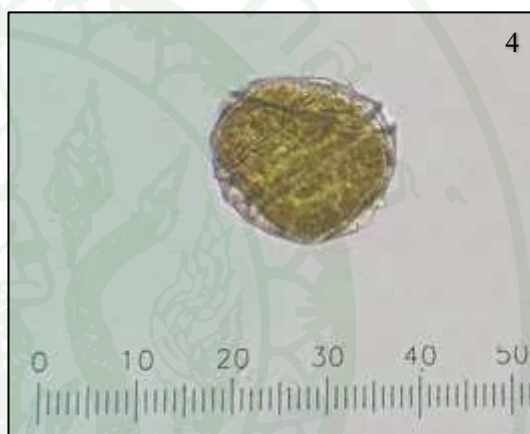
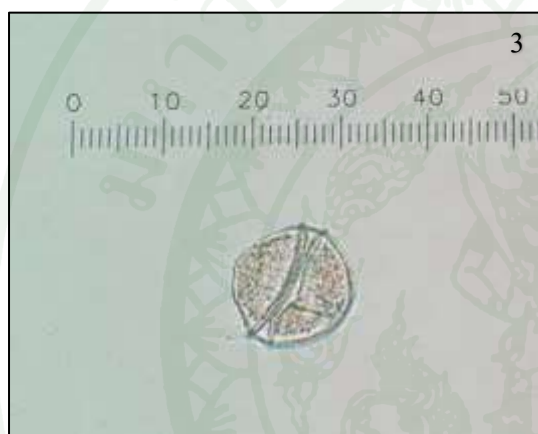
1. *Ceratium* sp.1 (40x)

2. *Ceratium* sp. 2 (40x)

3. *Peridinium* sp.1 (40x)

4. *Peridinium* sp.2 (40x)





ภาพที่ 32 หมวด Cryptophyta

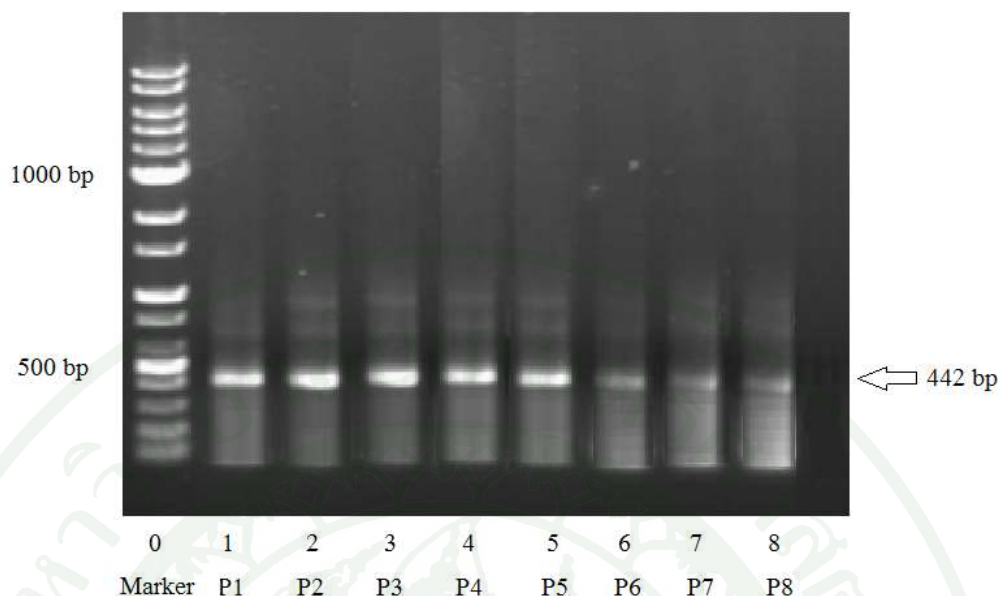
1. *Rhodomonas* sp. (40x)



3.2 การศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายด้วยเทคนิคทางอณูชีววิทยา (Molecular identification) โดยวิธี PCR-DGGE

จากการศึกษาประชากรของสาหร่ายพบว่าในช่วงเดือนสิงหาคม 2556 เป็นเดือนที่มีสาหร่ายเจริญเติบโตปริมาณมากที่สุด ตัวอย่างสาหร่ายที่นำมาศึกษาเพื่อตรวจวิเคราะห์สายพันธุ์ของประชากรหลักโดยวิธีทางอณูชีววิทยา จึงเป็นตัวอย่างในเดือนสิงหาคม ในการเพิ่มจำนวนสารพันธุกรรมเลือกใช้ไพรเมอร์ที่เจาะจงกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ไซยาโนแบคทีเรีย)

สาหร่ายที่นำมาศึกษาจะทำการเพิ่มปริมาณขึ้นด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ไพรเมอร์ CYA359F และ CYA781R ที่เจาะจงกับยีน 16S rRNA จากการตรวจสอบ DNA โดยนำไปแยกขนาดด้วยวิธี Electrophoresis ที่ใช้ 1% agarose gel เปรียบเทียบกับขนาดดีเอ็นเอมาตรฐาน จากนั้นนำแผ่นเจลไปย้อมสี DNA ด้วย Ethidium Bromide ตรวจสอบแถบ DNA ในเจลภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 8 จุดเก็บตัวอย่างที่ศึกษา แสดงในภาพที่ 33 พบแถบ DNA ขนาดประมาณ 400 ถึง 450 bp ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีขนาด DNA ประมาณ 442 bp (Gharaei-Fathabad *et al*, 2007) แถบ DNA ที่วิเคราะห์ได้นั้นแสดงถึงในแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในทุก ๆ จุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง (Lane 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 คือจุดเก็บ P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 และ P8 ตามลำดับ) จากแถบ DNA ที่ปรากฏจะพบว่าในจุดเก็บที่ P1, P2, P3, P4 และ P5 จะมีแถบชัดกว่าจุด P6, P7 และ P8 แสดงถึงการมีปริมาณ DNA ที่มากกว่า ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าในจุด P1, P2, P3, P4 และ P5 ที่ส่วนมากเป็นจุดรับน้ำจากลำห้วยจะมีปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากในจุดทางเข้าของลำห้วย

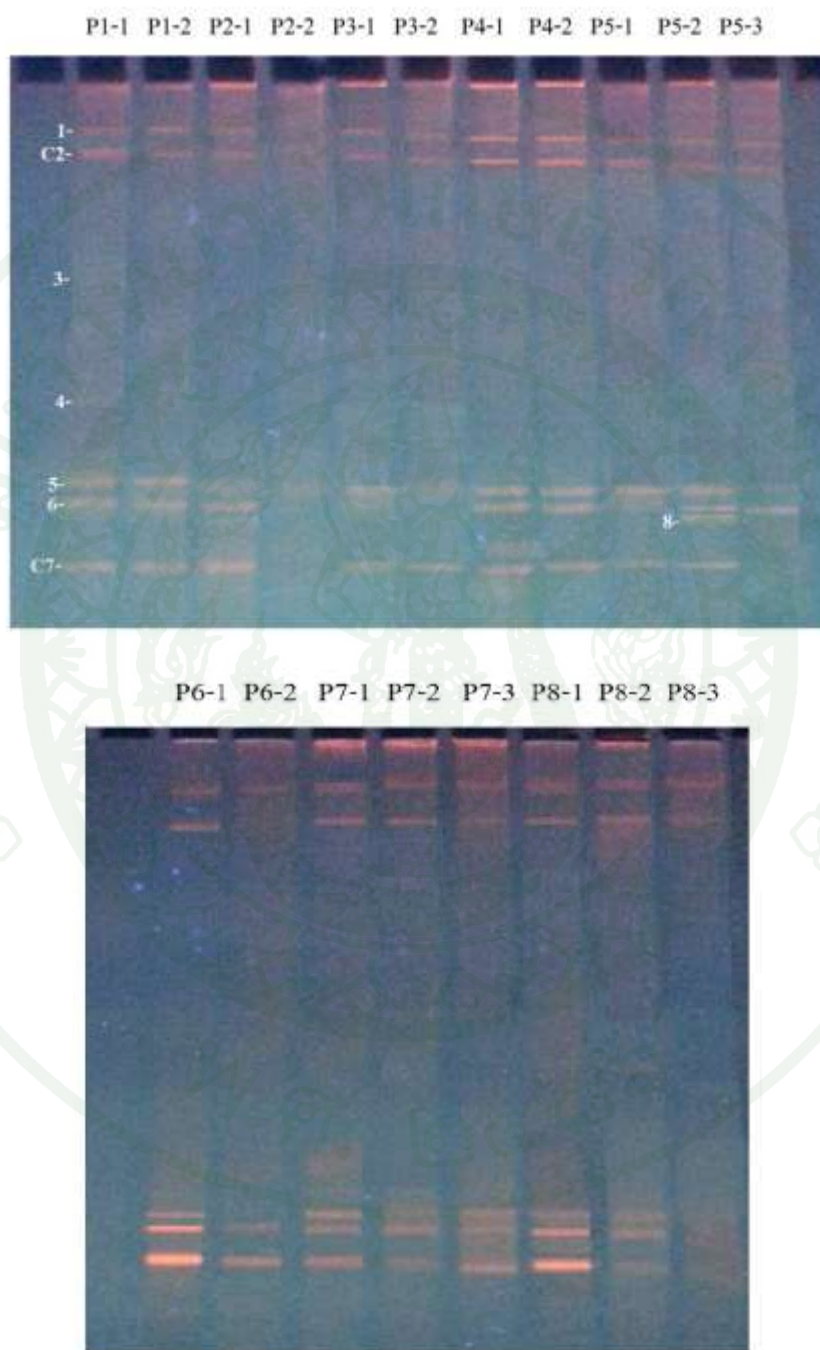


ภาพที่ 33 ผลการวิเคราะห์จำนวนคู่เบสของประชากรสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ ที่จุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ (P1-P8) เทียบกับ DNA มาตรฐาน (maeker) (Electrophoresis ที่ใช้ 1% agarose gel)

ตัวอย่าง DNA ของสาหร่ายในแต่ละจุดจะนำมาแยกตามลำดับเบสของ DNA ด้วยวิธี Denaturing Gradient Gel Electrophoresis ที่ใช้ 6% acrylamide gel ซึ่งจะสามารถแยกโมเลกุลของ DNA ที่มีลำดับเบสแตกต่างกันได้ โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร Denaturing Gradient จากส่วนบนโดยที่เจลที่มีความเข้มข้นน้อย (30%) ไปส่วนล่างที่มีความเข้มข้นมาก (60%) โดยหลักการใน DNA แต่ละคู่จะมีคู่เบสที่แตกต่างกัน ทั้งชนิดและลำดับจะถูก Denaturing ต่างกัน ทำให้เคลื่อนที่ในตัวกลางต่างกัน เห็นเป็นแถบ DNA ในตำแหน่งต่างกัน ดังภาพที่ 34 แสดงแถบ DNA ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง P1-P8 ที่ความลึกต่างๆ ทั้งหมด 19 ตัวอย่าง ในเดือนสิงหาคม 2556 พบว่ามีการปรากฏชนิดแถบทั้งหมด 8 แถบ หรือพบ 8 สายพันธุ์ โดยแถบที่ชัดเจนจะอยู่ในจุดที่เก็บตัวอย่างผิวน้ำ และแถบจะบางลงเรื่อย ๆ เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แสดงถึงปริมาณของสาหร่ายที่มีลดน้อยลงตามระดับความลึก

เพื่อที่จะระบุสายพันธุ์ของสาหร่าย ได้พิจารณาเลือกเฉพาะแถบที่ 2 และ 7 ซึ่งพบในทุกจุดเก็บตัวอย่างและมีความชัดเจนของแถบมากที่สุด (ขณะที่แถบที่ 8 พบแต่เฉพาะใน P5) โดยตัดแถบ DNA C2 และ C7 ไปทำการตรวจหาลำดับเบสของ DNA (sequencing) โดยเจลที่ถูกตัด

จะนำมาเพิ่มปริมาณ DNA โดยเทคนิค PCR อีกครั้ง และส่งวิเคราะห์ลำดับเบสโดยบริษัท Solgent ประเทศเกาหลีใต้ด้วยเครื่อง Applied Biosystems 3730XL



ภาพที่ 34 แถบ DNA ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในอ่างเก็บน้ำบางพระ เดือนสิงหาคม 2556 ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี DGGE ที่ใช้ 6% acrylamide gel ที่ความเข้มข้น 30-60% denaturing gradient

จากการตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสจะได้ลำดับเบส สองสาย ทำการรวมลำดับเบสทั้งสองสาย เข้าด้วยกันด้วยโปรแกรม BioEdit ได้ลำดับนิวคลีโอไทด์ดังแสดงในตารางที่ 11 จากนั้นนำมา เปรียบเทียบความเหมือนของนิวคลีโอไทด์กับลำดับเบสในฐานข้อมูล NCBI ด้วยโปรแกรม BLAST (basic local alignment search tools) เพื่อใช้ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือน (% identity) หรือความคล้าย (% similarity) ของลำดับนิวคลีโอไทด์ของสายพันธุ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งสองตัวอย่างมีความเหมือนกับสาหร่ายชนิด *Synechococcus* sp. ในระดับ 98%

สาหร่าย *Synechococcus* sp. เป็นสายพันธุ์หนึ่ง que พบจากการวิเคราะห์ส่องกล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่ 26 (25-26)) สาหร่ายชนิดนี้เป็นสาหร่ายที่พบได้ในแหล่งน้ำนิ่งตามธรรมชาติมีลักษณะ เซลล์อยู่แบบเดี่ยวหรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม มีรูปร่างเป็นแท่งตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย ไม่มีเมือกหุ้ม หรือมีเมือกหุ้ม ลักษณะบางไม่มีสี ดำรงชีวิตแบบลอยเป็นอิสระ สามารถพบการแพร่กระจาย ได้ในแหล่งความที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (ยูวดี, 2556) มีการสร้างสาร antifungal และ antibacterial ซึ่งจะต่างจากสารพิษ *Microcystin* (Martins et al., 2007) การตรวจพบสาหร่าย *Synechococcus* sp. บ่งชี้ถึงการมีสาหร่ายชนิดนี้เป็นปริมาณมากและมีการกระจายทั่วอ่างเก็บน้ำ บางพระ ซึ่งต่างจากการศึกษาของวิเชียร และคณะ (2544) และ ศิริพร และคณะ (2550) ที่ได้ระบุถึง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบมากที่สุด คือ สาหร่าย *Microcystis aeruginosa*

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์และผลการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ
สาขา

Section	Description	Similarity	Nucleotide Sequence
C2	Synechococcus sp. 0BB26S03 partial 16S rRNA gene, strain 0BB26S03	98%	TGACTACAGGGGTATCTAATCCCTTTTCGCTC CCCTGGTNATCCCTTTTCGTCATGAGCGTCA GTTATGGCCCAGCAGAGCGCCTTCGCCACT GGTGTCTTCCCGATATCTACGCATTTACCC GCTACACCGGGAATTCCTCTGCCCTACCA CACTCAAGTCTTGACGTTTCCATCGCTGAAA TGGAGTTAAGCTCCACGCTTTAACGACAGA CTTACAAGACCGCTGCGGACGCTTACGCC CAATAATTCCGGATAACGCTTGCCACTCCCG TATTACCGCGGCTGCTGGCACGGAATTAGC CGTGGCTTATTCTCAAGTACCGTCAGATCT TCTTCCTTGAGAAAAGAGGTTTACAGCCCA GAGGCCTTCAGCCCTCACGCGGCGTTGACTC CGTCAGGCTTTCGCCATTGCGGAAAATTCC CCCA
C7	Synechococcus sp. Suigetsu-CG2 genes for 16S rRNA, ITS1, tRNA-Ile, tRNA-Ala and 23S rRNA, partial and complete sequence	98%	GACTACAGGGGTATCTAATCCCTTTTCGCTCC CCANTGCTTGCTTTTCGTCATGAGCGTCAGT TATGGCCCAGCAGAGCGCCTTCGCCACTGG TGTTCTTCCCGATATCTACGCATTTACCCGC TACACCGGGAATTCCTCTGCCCTACCACA CTCAAGNCTTGNAGTTTCCATCGCTGAAATG GAGTTAAGCTCCACGCTTTAACGACAGACTT ACAAGGCCGCTGCGGACGCTTACGCCCA ATAATTCCGGATAACGCTTGCCACTCCCGTA TTACCGCGGCTGCTGGCACGGAATTAGCCG TGGCTTATTCTCAAGTACCGTCAGATCTTC TTCCTTGAGAAAAGAGGTTTACAGCCCAGA GGCCTTCAGCCCTCACGCGGCGTTGCGTCCG TCAGGCTTTCGCCATTGCGGAAAATTCCCA CA

4. ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จากการพิจารณาคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึง มีนาคม 2557 พบว่าการแปรผันของคลอโรฟิลล์ เอ มีความสอดคล้องกับการแปรผันของสารอาหาร (ออร์โธฟอสเฟต, แอมโมเนีย, ไนเตรท และเหล็ก) ก่อนข้างชัดเจนกว่าพารามิเตอร์อื่น และเนื่องจากทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตของสาหร่าย จึงนำค่ามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทั้งนี้ตัวอย่าง (n) ในแต่ละระดับความลึกมีจำนวนไม่เท่ากัน เนื่องจากบางจุดเก็บไม่สามารถเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 5 เมตร การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลใช้การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) จึงเลือกใช้ชุดข้อมูลตามความลึกมาหาความสัมพันธ์ โดยแยกปัจจัยการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต

จากการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และออร์โธฟอสเฟตแยกตามระดับความลึก (ภาพที่ 35) และการหาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง (ตารางที่ 12 และ 13) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และออร์โธฟอสเฟตทุกระดับความลึกมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ($p < 0.05$) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) แยกได้เป็น 3 สมการ (สมการที่ 6 ถึง 8) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่บริเวณผิวน้ำ ($R = 0.693$) และที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ($R = 0.531$) ทั้งสองระดับจัดว่าอยู่ในระดับความสัมพันธ์ปานกลาง และที่ระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ ($R = 0.448$) จัดว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 787.1 \times P \text{ (mgP/L)} + 7.636 \quad (6)$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 419.6 \times P \text{ (mgP/L)} + 9.526 \quad (7)$$

$$\text{ที่ 5 เมตร : Chla}_3 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 246.7 \times P \text{ (mgP/L)} + 11.05 \quad (8)$$

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณ
คลอโรฟิลล์เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
Surface	1	0.693	0.480	11.4923
2 m depth	1	0.531	0.282	9.83783
5 m depth	1	0.448	0.201	7.65783

ตารางที่ 13 ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต

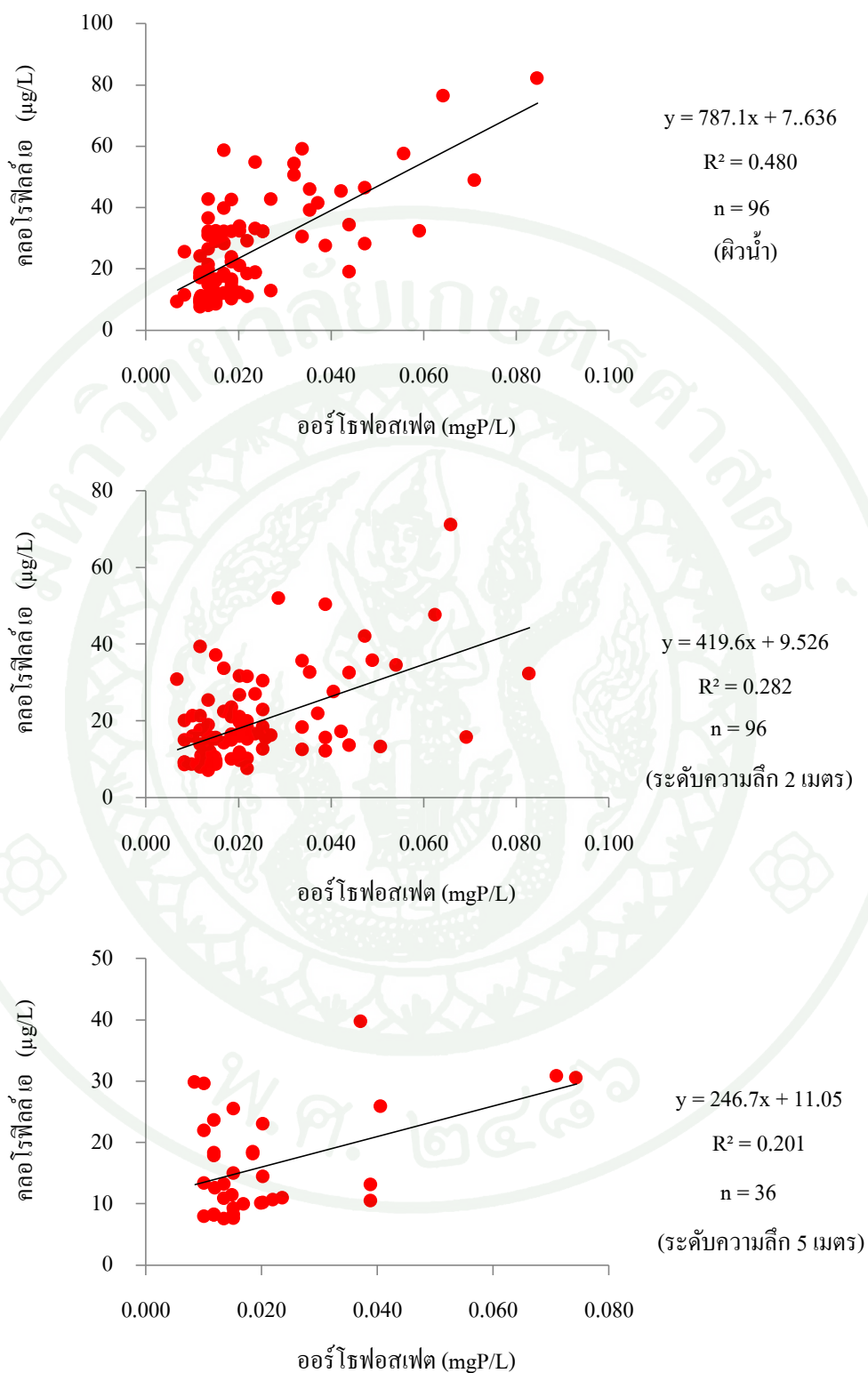
Model	Source	DF	SS	MS	F	P	
surface	1	Regression	1	11452.8	11452.8	86.72	0.000
		Residual Error	94	12414.9	132.1		
		Total	95	23867.7			
2 m depth	1	Regression	1	3580.2	3580.24	36.99	0.000
		Residual Error	94	9097.6	96.78		
		Total	95	12677.8			
5m depth	1	Regression	1	500.97	500.97	8.54	0.006
		Residual Error	34	1993.84	58.642		
		Total	35	2494.81			

ตารางที่ 14 อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์เอ
และออร์โธฟอสเฟต

Depth	SS (Residual Error) ①	SS (Total) ②	① / ②
surface	12414.9	23867.7	0.52
2 m	9097.6	12677.8	0.72
5m	1993.84	2494.81	0.80

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อย่างชัดเจน ทำให้สมการการทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแต่ละระดับน้ำแตกต่างกัน ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อควบคุมปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ จากตารางที่ 14 แสดงค่า SS (residual error) ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เทียบกับ SS (total) ผลรวมกำลังสองของค่าสังเกตแต่ละค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด พบว่าทั้งสามระดับมีค่ามากกว่า $1/5$ (0.2) บ่งชี้ถึงความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ เอ ที่ไม่ได้ขึ้นกับออร์โธฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ เอ ร่วมอยู่ด้วย





ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย

จากการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และแอมโมเนียแยกตามระดับความลึก (ภาพที่ 36) และการหาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง (ตารางที่ 15 และ 16) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และแอมโมเนียที่บริเวณผิวน้ำและระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ($p < 0.05$) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) แยกได้เป็น 2 สมการ (สมการที่ 9 ถึง 10) ที่ระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ จัดว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากค่า p มากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ($p > 0.05$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณแอมโมเนียที่บริเวณผิวน้ำ ($R = 0.550$) จัดว่าอยู่ในระดับความสัมพันธ์ปานกลาง ที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ($R = 0.243$) จัดว่าอยู่ในระดับความสัมพันธ์ต่ำ ปริมาณไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำมีค่ามากเกินไปเกินความต้องการของสาหร่าย ($> 0.02 \text{ mgN/L}$) (Ryding, 1988) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และแอมโมเนียมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 217.5 \times \text{NH}_3 \text{ (mgN/L)} + 11.39 \quad (9)$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 64.10 \times \text{NH}_3 \text{ (mgN/L)} + 15.25 \quad (10)$$

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
surface	1	0.550	0.302	13.5261
2 m depth	1	0.243	0.059	11.5407
5m depth	1	0.286	0.082	8.42416

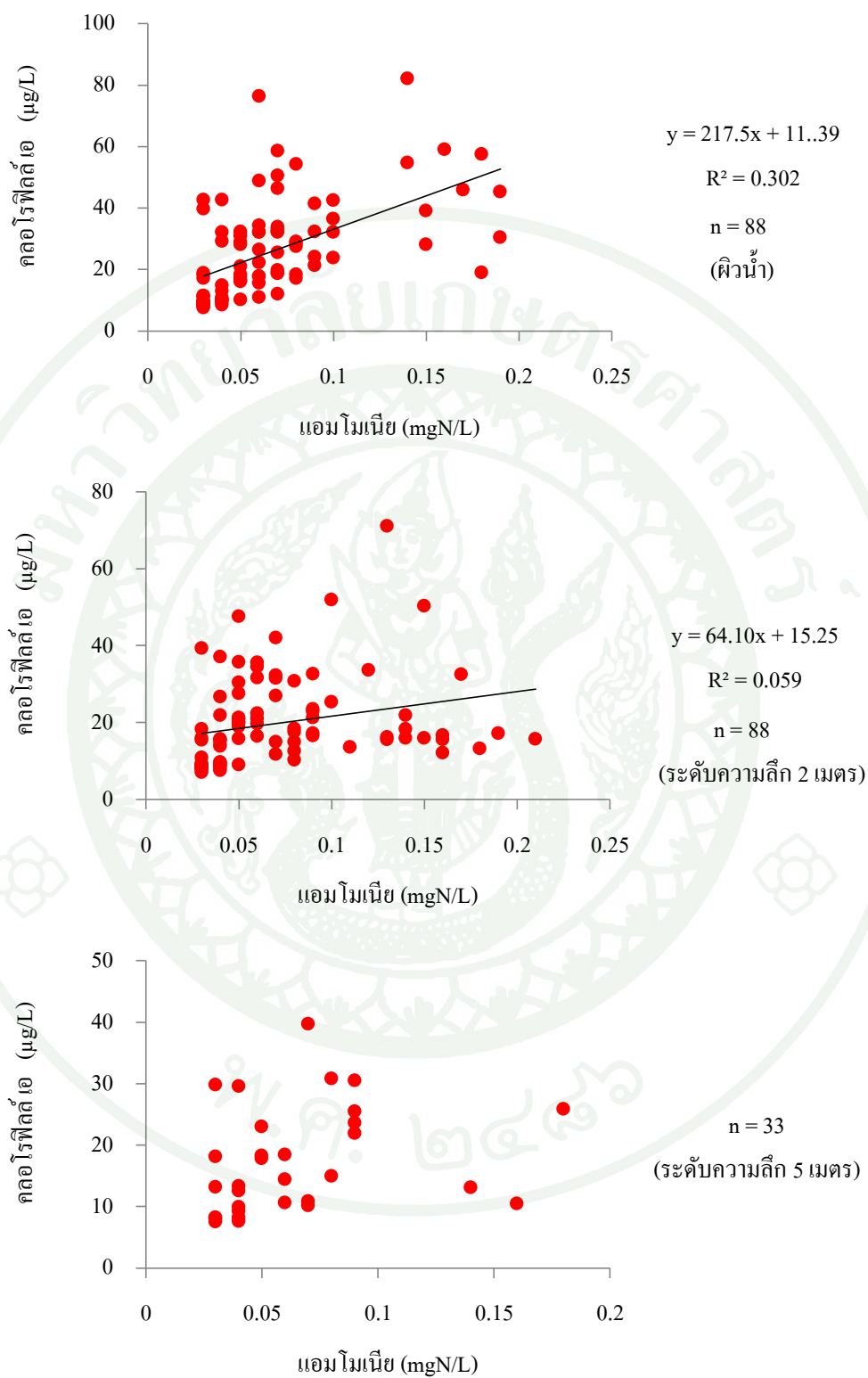
ตารางที่ 16 ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย

Model	Source	DF	SS	MS	F	P
surface	1 Regression	1	6819.5	6819.52	37.27	0.000
	Residual Error	86	15734.1	182.95		
	Total	87	22553.6			
2 m depth	1 Regression	1	714.7	714.726	5.37	0.023
	Residual Error	86	11454.2	133.189		
	Total	87	12168.9			
5m depth	1 Regression	1	197.66	197.655	2.79	0.105
	Residual Error	31	2199.96	70.967		
	Total	32	2397.62			

ตารางที่ 17 อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์ เอ และแอมโมเนีย

Depth	SS (Residual Error) ①	SS (Total) ②	①/②
Surface	15734.1	22553.6	0.70
2 m	11454.2	12168.9	0.94
5m	2199.96	2397.62	0.92

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อย่างชัดเจน ทำให้สมการการทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแต่ละระดับน้ำแตกต่างกัน ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อควบคุมปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ จากตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง SS (residual error) เทียบกับ SS (total) พบว่า ทั้งสามระดับมีค่ามากกว่า 1/5 (0.2) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แปรผันตามปริมาณแอมโมเนีย เนื่องจากแอมโมเนียที่พบในแหล่งน้ำมีค่ามากเกินไปเกินความต้องการของสาหร่าย รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ เอ ร่วมอยู่ด้วย



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนียที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตร จากผิวน้ำ

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท

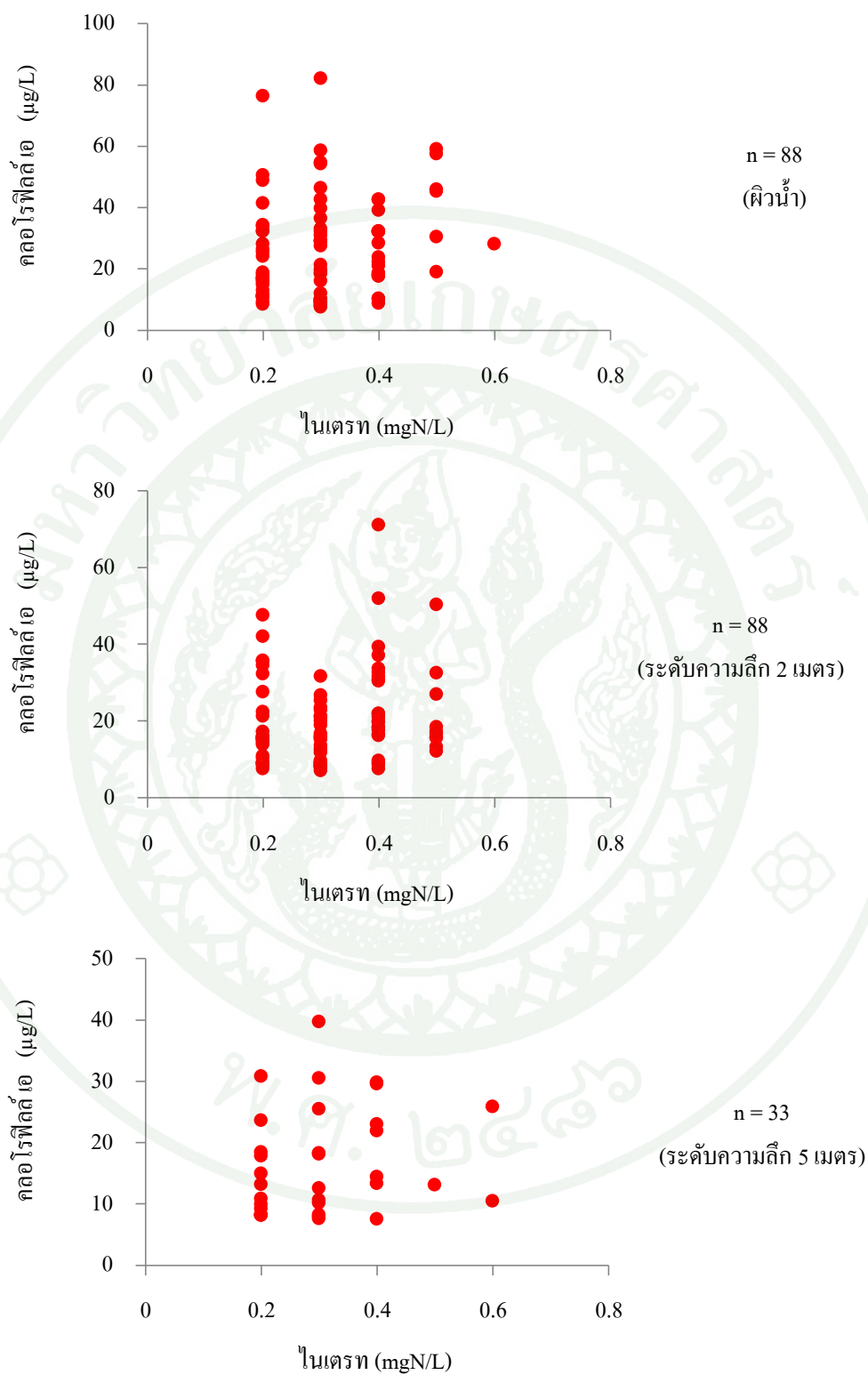
จากการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และไนเตรทแยกตามระดับความลึก (ภาพที่ 37) และการหาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง (ตารางที่ 18 และ 19) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และไนเตรททุกระดับความลึกไม่มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง เนื่องจากค่า p มากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ($p > 0.05$) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) ทำให้ไม่สามารถสร้างสมการทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ จากการคำนวณอัตราส่วนสารอาหารในการกำหนดการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่าส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของสาหร่าย รวมถึงปริมาณไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำมีค่ามากเกินไป ความต้องการของสาหร่าย ($> 0.02 \text{ mgN/L}$) (Ryding, 1988) และในการใช้สารอาหารจำพวกไนโตรเจน สาหร่ายชอบใช้แอมโมเนียมากกว่าไนเตรท (McCarthy *et al.*, 1977) เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ เอ ในอ่างเก็บน้ำไม่แปรผันตามปริมาณไนเตรท

ตารางที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท

Model		R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
surface	1	0.179	0.032	0.021	15.9329
2 m depth	1	0.173	0.030	0.019	11.7168
5m depth	1	0.164	0.027	0.000	8.67458

ตารางที่ 19 ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรท

Model	Source	DF	SS	MS	F	P
surface	1 Regression	1	721.8	721.833	2.84	0.095
	Residual Error	86	21831.8	253.858		
	Total	87	2253.6			
2 m depth	1 Regression	1	362.5	362.515	2.64	0.108
	Residual Error	86	11806.4	137.284		
	Total	87	12168.9			
5m depth	1 Regression	1	64.92	64.9213	0.86	0.360
	Residual Error	31	2332.7	75.2483		
	Total	32	2397.62			



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณไนเตรทที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตร จากผิวน้ำ

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก

จากการพล็อตกราฟระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และเหล็กแยกตามระดับความลึก (ภาพที่ 38) และการหาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง (ตารางที่ 20 และ 21) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และเหล็กที่บริเวณผิวน้ำและระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ($p < 0.05$) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) แยกได้เป็น 2 สมการ (สมการที่ 11 ถึง 12) ที่ระดับความลึก 5 เมตรจากผิวน้ำ จัดว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากค่า p มากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ($p > 0.05$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณเหล็กที่บริเวณผิวน้ำ ($R = 0.472$) และระดับความลึก 2 เมตรจากผิวน้ำ ($R = 0.359$) ทั้งสองระดับจัดว่าอยู่ในระดับความสัมพันธ์ต่ำ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 118.4 \times \text{Fe (mg/L)} + 18.14 \quad (11)$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 61.17 \times \text{Fe (mg/L)} + 15.30 \quad (12)$$

ตารางที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
surface	1	0.472	0.223	0.214	14.275
2 m depth	1	0.359	0.129	0.119	11.0989
5m depth	1	0.190	0.036	0.005	8.63462

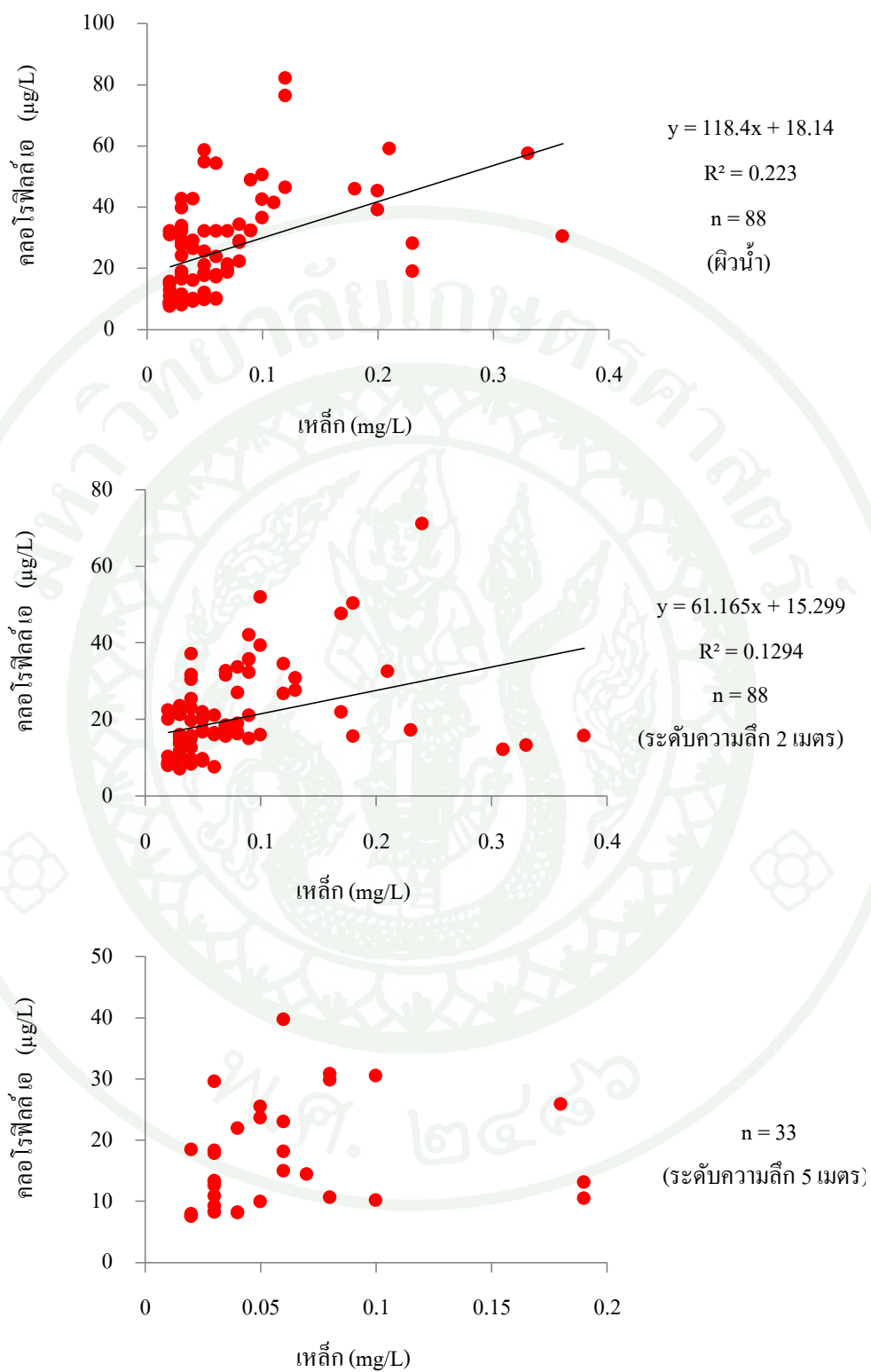
ตารางที่ 21 ค่าความแปรปรวนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก

Model	Source	DF	SS	MS	F	P	
surface	1	Regression	1	5028.8	5028.8	24.68	0.000
		Residual Error	86	17524.8	203.78		
		Total	87	22553.6			
2 m depth	1	Regression	1	1575	1575	12.79	0.001
		Residual Error	86	10593.9	123.19		
		Total	76	12168.9			
5m depth	1	Regression	1	86.36	86.3628	1.16	0.29
		Residual Error	31	2311.25	74.5566		
		Total	32	2397.62			

ตารางที่ 22 อัตราส่วนระหว่าง SS(residual error) และ SS(total) ของความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์ เอ และเหล็ก

Depth	SS (Residual Error) ①	SS (Total) ②	①/②
surface	17524.8	22553.6	0.78
2 m	10593.9	12168.9	0.87
5m	2311.25	2397.62	0.96

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ อย่างชัดเจน ทำให้สมการการทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของแต่ละระดับน้ำแตกต่างกัน ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อควบคุมปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำ จากตารางที่ 22 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง SS (residual error) เทียบกับ SS (total) พบว่าทั้งสามระดับมีค่ามากกว่า 1/5 (0.2) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แปรผันตามปริมาณเหล็ก เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุอาหารรอง รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ เอ ร่วมอยู่ด้วย



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหวี่ยงที่ผิวน้ำ
ระดับความลึก 2 เมตร และระดับความลึก 5 เมตร จากผิวน้ำ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณสารอาหารจะพบว่า ออร์โทพอสเฟตเป็นสารอาหารหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของความสัมพันธ์ระหว่างออร์โทพอสเฟตและคลอโรฟิลล์ เอ ที่ผิวน้ำ มีค่าสูงกว่าค่า R ที่ระดับความลึกอื่น ๆ และสูงกว่าความสัมพันธ์คลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณสารอาหารอื่น สอดคล้องกับผลของอัตราส่วน N:P ที่ได้ คือ P เป็นตัวกำหนดปัจจัยการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ เนื่องจากสารอาหารมีมากเกินไปความต้องการของสาหร่ายทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ฤดูกาล ความลึก ลม แสงแดด และสภาพแวดล้อมรอบอ่างเก็บน้ำ ก็ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของสาหร่าย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายกับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนเมษายน 2556 ถึง เดือนมีนาคม 2557 โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้ง ครั้งละ 8 จุด โดยเก็บตัวอย่างที่ผิวน้ำ ระดับความลึก 2 เมตร และ 5 เมตรจากผิวน้ำ เก็บตัวอย่างทั้งหมดรวม 19 ตัวอย่าง สรุปผลได้ดังนี้

1. ปริมาณของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระ

ความหนาแน่นประชากรของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระวิเคราะห์โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าอยู่ในช่วง 7.06 ถึง 82.09 $\mu\text{g/L}$ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบโดยเฉลี่ยทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่บ่งชี้ถึงการเกิดยูโทรฟิเคชัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงในช่วงฤดูฝนถึงต้นฤดูหนาวและมีปริมาณน้อยในช่วงฤดูร้อน โดยพบปริมาณของสาหร่ายหนาแน่นมากในบริเวณทางเข้าของลำห้วยมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

2. คุณภาพน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จากการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่าคุณภาพน้ำจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติของแหล่งน้ำทั่วไป และเมื่อจัดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินจัดอยู่ในประเภทที่ 2 และ 3 ซึ่งสามารถนำมาอุปโภคบริโภคได้โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคและกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อน คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามฤดูกาล โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับปริมาณสารอาหาร คือ มีปริมาณต่ำในช่วงฤดูร้อนและมีปริมาณสูงในช่วงฤดูฝน เนื่องจากในช่วงฤดูฝนมีการพัดพาสารอาหารลงสู่อ่างเก็บน้ำในปริมาณมาก

3. ความหลากหลายของสาหร่าย

การวิเคราะห์ความหลากหลายทางสัณฐานวิทยา (Morphological identification) โดยวิธี Direct Microscopic Examination พบความหลากหลายของสาหร่าย 7 หมวด 54 สกุล โดยกลุ่มที่มีจำนวนชนิดของสาหร่ายสูงที่สุดคือหมวด Chlorophyta พบ 26 สกุล รองลงมาคือหมวด Cyanophyta พบ 13 สกุล หมวด Euglenophyta พบ 4 สกุล หมวด Bacillariophyta พบ 7 สกุล หมวด Cryptophyta พบ 1 สกุล หมวด Chrysophyta พบ 1 สกุล และหมวด Pyrrophyta พบ 2 สกุล โดยพบสาหร่ายหมวด Bacillariophyta ปริมาณมากในช่วงฤดูร้อนและหมวด Cyanophyta ปริมาณมากในช่วงฤดูฝน

การวิเคราะห์สายพันธุ์ของสาหร่ายกลุ่มหลักในช่วงที่มีการแพร่กระจายของสาหร่าย โดยใช้เทคนิคทางอณูชีววิทยา (Molecular identification) โดยวิธี PCR-DGGE พบว่าสาหร่ายกลุ่มหลักมีลำดับเบสที่ความคล้ายในระดับ 98% กับ *Synechococcus* sp.

4. ความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสาหร่ายและคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จากการศึกษาทางสถิติพบว่าประชากรสาหร่ายมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหาร โดยสัมพันธ์กับปริมาณออร์โธฟอสเฟตมากที่สุด สามารถสร้างสมการการทำนายปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับปริมาณสารอาหารดังนี้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณออร์โธฟอสเฟต

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 787.1 \times \text{P (mgP/L)} + 7.636$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 419.6 \times \text{P (mgP/L)} + 9.526$$

$$\text{ที่ 5 เมตร : Chla}_3 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 246.7 \times \text{P (mgP/L)} + 11.05$$

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแอมโมเนีย

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 217.5 \times \text{NH}_3 \text{ (mgN/L)} + 11.39$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 64.10 \times \text{NH}_3 \text{ (mgN/L)} + 15.25$$

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณเหล็ก

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

$$\text{ที่ผิวน้ำ : Chla}_1 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 118.4 \times \text{Fe (mg/L)} + 18.14$$

$$\text{ที่ 2 เมตร : Chla}_2 \text{ (}\mu\text{g/L)} = 61.17 \times \text{Fe (mg/L)} + 15.30$$

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาตลอดระยะเวลา 1 ปี พบว่าปริมาณสาหร่าย คุณภาพน้ำ และความหลากหลายของสาหร่าย มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในแต่ละฤดูกาล ดังนั้น ควรมีการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงและปัญหามลพิษทางน้ำที่อาจเกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำบางพระในอนาคตต่อไป
2. ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำและบริเวณต้นน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำบางพระ ในการวิจัยครั้งต่อ ๆ ไปควรเพิ่มการเก็บตัวอย่างเพื่อให้ครอบคลุมและรู้ปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำบางพระ
3. ในการศึกษาความหลากหลายด้วยวิธี Direct Microscopic Examination ควรมีการนับจำนวนสาหร่ายแต่ละชนิดที่พบ เพื่อระบุว่าสาหร่ายชนิดไหนมีปริมาณมากที่สุดในอ่างเก็บน้ำบางพระ และการศึกษาความหลากหลายด้วยวิธี PCR-DGGE ควรมีการตรวจสอบทุกเดือนเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของสายพันธุ์ของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำบางพระทุก ๆ เดือน
4. ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หากต้องการผลที่แม่นยำควรมีการเก็บตัวอย่างทุกวัน และในการสร้างสมการควรสร้างสมการที่มีหลายตัวแปร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาหร่ายขึ้นกับหลายปัจจัย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม**. โคราซอออฟเซ็ทการพิมพ์, นครราชสีมา.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2557. **รายงานข้อมูลปริมาณ
แสงอาทิตย์ จังหวัดชลบุรี**. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง
พลังงาน, กรุงเทพฯ.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. **ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8
พ.ศ. 2537**. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- โครงการชลประทานชลบุรี. 2555. **รายงานอ่างเก็บน้ำบางพระ**. ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบ
ชลประทาน โครงการชลประทานชลบุรี กรมชลประทาน, ชลบุรี.
- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2537. **ชีววิทยา 2**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2534. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ.
- พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. **เคมีสถานะแวดล้อม**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- พิชญ ไชยมงคล. 2552. **ความหลากหลายและการกระจายตัวในแนวตั้งของแพลงก์ตอนที่มี
ความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ จังหวัดลำพูน**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพริน สุดหวัง, สรัญญา วัชรโรทัย, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ ณีฐา เสนีवास. 2553. ความหลากหลาย
ของสาหร่ายแนวตั้งในบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์. **พฤกษศาสตร์ไทย 2**
(ฉบับพิเศษ): 21-31.

มานพ ศิริวรกุลม, สมชาย รัตนานนท์วัฒน์, ประมุข เพ็ญสุด และ จตุพร พรประเสริฐชัย. 2536.

การศึกษาแหล่งต้นน้ำและคุณภาพน้ำของอ่างบางพระที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว. กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา. กรมชลประทาน.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรัถย์ ตัณฑุลเวศม์. 2551. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ยูดี พีรพรพิศาล. 2549. **สาหร่ายวิทยา**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ยูดี พีรพรพิศาล. 2556. **สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ยูดี พีรพรพิศาล, นีรศักดิ์ สมดี, วันชัย สนธิไชย และ Eugen Rott. 2551. **คุณภาพน้ำ การกระจายและผลผลิตเบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. **แพลงก์ตอนพืช**. ภาควิชาชีววิทยา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

วิเชียร ขงมานิตชัย, ผกามาส อินทโชติ และ เตือนรัตน์ ชลอุดมกุล. 2544. การสำรวจความหลากหลายของไซยาโนแบคทีเรียพิษในประเทศไทย. **In 6th WRC Workshop on Eutrophication and Toxic Cyanobacteria in Freshwater Reservoirs**: Faculty of Science Chaingmai University, February 8-10, 2001. Organized by Water Research Center (WRC), Faculty of Science, Chaingmai University and Department of Biological Science University of Dundee, UK and supported by the British Council.

วิไลลักษณ์ กิจนะพานิช. 2540. คู่มือการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศิริประภา ตรีเดช. 2546. การกำจัดสาหร่ายโดยระบบผลิตน้ำประปาที่ใช้ถังกรองแบบเม็ดพลาสติก ลอยร่วมกับไมโครฟิเตรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริพงษ์ เกียรติประดับ. 2544. ความหลากหลายของสาหร่ายพืชสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำใน อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ปี 2543 – 2544. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิริพร บุญดาว และ นิสานาด ละอองพันธ์. 2550. การติดตามสถานะยูโทรฟิเคชันในอ่างเก็บน้ำ บางพระ จังหวัดชลบุรี. กลุ่มงานวิจัย ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักงาน งานวิจัยและพัฒนา, กรมชลประทาน.

ศิริพร บุญดาว, นิสานาด ละอองพันธ์, อุไร เฟ่งพิศ และ อำพร คล้ายแก้ว. 2552. การประเมินผล ตกค้างของสารควบคุมสาหร่ายชั้นต่ำโดยใช้สัตว์พืชท้องถิ่นในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัด ชลบุรี. กลุ่มงานวิจัย ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักงานวิจัยและพัฒนา, กรมชลประทาน.

ศูนย์ปฏิบัติการจัดสรรน้ำ สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2557. สถานการณ์น้ำใน อ่างเก็บน้ำบางพระ. แหล่งที่มา:

http://www.thaiwater.net/DATA/REPORT/php/rid_lgraph3.php?dam_id=26, 2 พฤษภาคม 2557.

อาภารัตน์ มหาพันธ์, ประไพภัทร คลังทรัพย์, พรรณรัตน์ รัตนโชติ, วัลลภา อรุณไพโรจน์, โทโมฮารุ ซาโน, มาโกโตะ เอ็ม วาดานาเบ, คุณิมิตชี คายา และ พูนสุข อัดทะสัมบูรณ์. 2542. ความเป็นพิษของสาหร่ายที่ผลิตสารพิษในประเทศไทย. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 14(1): 7-10.

- Amann, R.I., W. Ludwig, and K.H. Schleifer. 1995. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. **Microbiological Reviews** 59 : 143-169.
- Anonymous. 2013. Available Source: <http://chm-thai.onep.go.th/wetland/BangPra.html>, January 15, 2013
- Anonymous. 2014. Available Source: <https://www.neb.com/applications/dna-amplification-and-pcr/pcr>, January 30, 2014
- APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. Washington, D.C.
- Bio rad. 2012. The DCode™ Universal Mutation Detection System. Catalog Number 170-9080 through 170-9104.
- Bold, H.C. and M.J. Wynne. 1978. **Introduction to the Algae**. G.D. Makhija at India Offset Press, New Delhi.
- _____. 1985. **Introduction to the Algae: Structure and Reproduction**. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Boney, A.D. 1975. **Phytoplankton**. The Institute of Biology's Studies in Biology. Edward Arnold Limited, London.
- Chapmann, V.J. and D.J. Chapmann. 1973. **The Algae**. 2nd ed., The Macmillan Press Ltd., London.
- Christensen, T. 1962. **Systematik Botanik, Alger**. In **Botanik**. (eds. T.W. Böcher, M. Lange and T. Sorensen), Munksgaard, Copenhagen.

Chorus, I. and J. Bartram. 1999. **Toxic cyanobacteria in water**. Published on behalf of world Health Organization, E&FN Spon, an imprint of Routledge, London and New York.

Codd, G.A. 1995. Cyanobacterial toxins: Occurrence, properties and biological significance. **Water Sciences and Technology** 32(4): 149-156.

Dittmann, E. and C. Wiegand. 2006. Cyanobacterial toxins-occurrence, biosynthesis and impact on human affairs. **Molecular Nutrition & Food Research** 50: 7-17.

Environmental Carrying Capacity Study. 2005. **Fair Lake Environmental Carrying Capacity Study**. Project number 51830108, Pp. 10.

Fogg, G.E. 1975. **Algae Cultures and Phytoplankton Ecology**. 2nd edition., The University of Wisconsin Press Ltd., Wisconsin.

Gharaei-Fathabad, E., M.T. Yazdi, S.N. Ostad, S. Shokravi, Z. Sepehrizadeh, M.A. Faramarzi and M. Amini. 2007. Nostoc piscinale Gt-319, a New Cyanobacteria Strain with Cytotoxic Activity. **Biotechnology** 6(4): 505-512.

Graham, L.E. and L.W. Wilcox. 2000. **Algae**. Prentice-Hall, Inc., USA.

Graham, J.L., K.A. Loftin., M.T. Meyer and A.C. Ziegler. 2010. Cyanotoxin mixtures and taste-and-odor compounds in Cyanobacterial blooms from the Midwestern United States. **Environmental Science & Technology** 44: 7361-7368.

Goldman, C.R. and A.J. Horne. 1983. **Limnology**. McGraw-Hill Book Company Published, New York.

Helmut, K. 1991. **Control of Eutrophication in Inland Waters**. Redwood Press, Wiltshire.

Hinkle, D.E., W. William and G.J. Stephen. 1998. **Applied Statistics for the Behavior Sciences**. 4th ed. Houghton Mifflin, New York.

Hynes, H.B.N. 1970. **The Ecology of Running Waters**. Liverpool University Press, Liverpool.

Lee, R.E. 1980. **Phycology**. Cambridge University Press, New York.

Liu, X., L. Xiaohua and C. Yuwei. 2011. The effects of temperature and nutrient ratios on Microcystis blooms in lake Taihu, China : An 11-year investigation. **Harmful Algae** 10 :337-343.

Madigan, M.T. and J.W. Martinco. 2006. **Brock Biology of Microorganism**. 11th ed., Association of Office Analytical Chemist, New Jersey, USA.

Maitland, P.S. 1978. **Biology of Freshwater**. Blackies & Sons, Inc., New York.

Martins, R.F., M.F. Ramos, J.A. Sousa, K. Skaerven and V.M. Vasconcelos. 2007. Antimicrobial and cytotoxic assessment of marine cyanobacteria-Synechocystis and Synechococcus. **Marine Drugs** 6(1) : 1-11.

McCarthy, J.J., W.R. Taylor and J.L. Taft. 1977. Nitrogenous Nutrition of the Phytoplankton in the Chesapeake Bay, Part 1: Nutrient Availability and Phytoplankton Preference. **Limnology and Oceanography** 22(5): 999-1001.

Muyzer, G., E.C. De Waaland and A.G. Uitterlinden. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. **Applied and Environmental Microbiology** 59: 695-700.

National Eutrophication Monitoring Programme Design. 2002. **Chapter 2**, 2-5.

- Nubel, U., F. Garcia-Pichel and G. Muyzer. 1997. PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria. **Applied and Environmental Microbiology** 63: 3327–3332.
- Oquist, G. 1971. Changes in pigment composition and photosynthesis induced by iron deficiency in the blue-green alga *Anacystis nidulans*. **Plant Physiology** 25: 188-195.
- Otsuka, S., R. Suda, Li, M. Watanabe, H. Oyaizu, S. Matsumoto and M.M. Watanabe. 1998. 16S rDNA sequences and phylogenetic analyses of *Microcystis* strains with and without phycoerythrin. **FEMS Microbiology Letters** 164: 119-124.
- Palmer, C.M. and R.S. Pa. 1977. **Algae and Water Pollution**. U. S. Department of Commerce National Technical Information Service.
- Prescott, G.W. 1962. **Algae of the Western Great Lake Area**. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Raymont, J.E.G. 1963. **Plankton and Productivity in the Oceans**. Pergamon Press, London.
- Raynolds, C.S. 1984. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge University Press. New York.
- Redfield, A.C. 1934. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In **James Johnstone Memorial Volume**. (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool: 177-192.
- Richmond, A. 1986. Cell response to environmental factors, 69-115. In Richmond, A. **CRC Handbook of Microalgal Mass Culture**. Florida: CRC Press. 560.

- Rinta-Kanto, J.M., A.J.A. Ouellette, G.L. Boye, M.R. Twiss, T.N. Bridgeman and S.W. Wilhelm. 2005. Quantification of toxic *Microcystis* spp. during the 2003 and 2004 blooms in Western Lake Erie using quantitative real-time PCR. **Environmental Science and Technology** 39(11): 4198–4205.
- Roberts, J. E.1995. Visible light induced changes in the immune response through an eye-brain mechanism (photoneuroimmunology). **Photochemistry and Photobiology B: Biology** 29: 3-15.
- Rolf, A., I. Schuller, U. Finckh and I. Weber Rolf. 1992. **PCR: Clinical diagnostics and Research**. Springer Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 271 p.
- Round, F.E. 1973. **The Biology of Algae**. 2nd ed., Affiliated Publishers: Mcmillan Ltd., London.
- _____. 1981. **The Ecology of Algae**. Cambridge University Press, Cambridge, London.
- Ruttner, F. 1968. **Fundamentals of Limnology**. University of Toronto Press, Toronto.
- Ryding, S. 1988. **Control of Eutrofication of Lakes and Reservoirs**. Cambridge University Press, 1v. [UNESCO Man and Biosphere series].
- Shirota, A. 1966. **The Plankton of South Viet-Nam**. Overseas Technical Cooperation Agency, Japan.
- Smith, G.M. 1950. **Fresh-water algae of the United States**. McGraw-Hill Book Company. Inc., New York.
- Smith, R.L. 1992. **Elementary of Ecology**. 3rd ed. Harper Collins Publishers Inc., New York.
- Sommer, U. 1989. **Plankton Ecology**. Science Tech Publichers, USA.

- Sompong, U., P.R. Hawkins, C. Besley and Y. Peerapornpisal. 2005. The distribution of cyanobacteria across physical and chemical gradients in hot springs in northern Thailand. **Microbiology Ecology** 52: 365–376.
- Trainor, F.R. 1978. **Introduction Phycology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Vorosmarty, C.J., P. Green, J. Salisbury and R.B. Lammers. 2000. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. **Science** 289: 284-288.
- Wang, X., P. Parkpian, N. Fujimoto, K.M. Ruchirawat, R.D. Delaune and A. Jugsujinda. 2002. Environmental conditions associating microcystins production to *Microcystis aeruginosa* in a reservoir of Thailand. **Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering** 37(7): 1181-1207.
- Ward, A. and N. Bora. 2004. **Workshop on denaturing gradient gel electrophoresis**. 4-6th May 2004. Department of Biology. Faculty of Science. Chiang Mai University.
- Watanabe, M. 1996. Isolation, cultivation and classification of bloom-forming *Microcystis aeruginosa*: 13-34. In M.F. Watanabe, K.I. Harada, W.W. Carmichael and H.F. Fujiki (eds). **Toxic Microcystis**. CRC Press, New York.
- Watt, W.D. 1969. Extracellular release of organic matter from two fresh water diatoms. **Annual Botanical** 33: 427-437.
- Wetzel, R.G. 1983. **Limnology**. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Willen, E. 2001. Phytoplankton and water quality characterization: Experiences from the Swedish large lake Malaren, Hjalmarren, Vattern and Vanern. **Ambio** 30(8): 529-537.

Winter, T.C., J.W. Harvey, O.L. Franke and W.M. Alley. 1998. **Groundwater and surface water: A single resource**. U.S. Geological survey Circular 1139.

Xu, Y., F. Yang, Y. Liu, Z. Wang, J. Wang, G. Wang and R. Li. 2011. Genetic diversity of *Microcystis* population in a bloom and its relationship to the environmental factors in Qinhuai River, China. **Microbiological Research** 167, 2-26.

Ye, W., J. Tan, X. Liu, S. Lin, J. Pan, D. Li and H. Yang. 2011. Temporal variability of cyanobacterial populations in the water and sediment samples of Lake Taihu as determined by DGGE and real-time PCR. **Harmful Algae** 10: 472–479.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนเมษายน 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)
P1-1	7.8	31.2	5.98	0.87	5.07	183.1	0.019	11.45	30
P1-2	7.8	31.0	5.34	1.00	7.38	186.2	0.022	10.20	32
P2-1	7.8	31.5	5.92	0.88	5.89	181.0	0.015	11.97	30
P2-2	7.8	31.4	5.13	0.66	4.96	181.3	0.019	9.73	38
P3-1	7.8	31.8	6.2	1.09	4.79	184.0	0.020	12.04	38
P3-2	7.9	31.5	5.54	1.00	6.50	185.3	0.020	11.28	38
P4-1	7.9	31.2	6.31	1.00	10.47	187.2	0.027	13.00	40
P4-2	8.0	31.2	5.42	1.22	6.29	187.0	0.034	12.57	40
P5-1	7.9	31.6	6.17	0.94	6.27	194.1	0.019	16.58	38
P5-2	8.0	31.5	5.62	1.13	4.50	194.9	0.022	15.00	36
P5-3	7.9	31.0	4.98	1.25	3.79	194.7	0.024	10.98	32
P6-1	7.9	31.1	5.24	0.81	5.88	184.0	0.019	14.25	36
P6-2	7.8	31.2	5.97	1.22	4.83	185.0	0.025	12.40	38
P7-1	7.9	31.3	5.88	1.25	5.04	185.0	0.012	10.95	38
P7-2	7.8	31.1	5.21	1.19	5.12	185.5	0.015	10.56	40
P7-3	7.8	31.0	4.65	0.94	5.56	185.3	0.020	10.27	40
P8-1	7.8	31.5	5.45	1.00	4.14	181.0	0.019	12.48	38
P8-2	7.9	31.2	5.21	0.88	4.84	181.5	0.014	11.73	38
P8-3	7.9	29.8	4.87	0.87	4.55	182.0	0.015	11.15	38

* หมายเหตุ ในเดือนเมษายน 2556 ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ SS, Iron, Amonia และ Nitrate

ตารางผนวกที่ ก2 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนพฤษภาคม 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.7	31.2	6.10	1.88	3.25	185.0	0.014	10.86	42	3	0.03	0.03	0.2
P1-2	7.8	31.0	6.21	1.78	4.55	186.0	0.012	10.84	40	7	0.03	0.03	0.2
P2-1	7.7	31.5	5.68	2.31	16.50	185.2	0.024	18.86	38	12	0.03	0.03	0.2
P2-2	7.8	31.2	5.42	1.98	15.20	184.0	0.026	15.42	38	10	0.03	0.04	0.2
P3-1	7.9	31.1	5.30	2.00	5.50	186.6	0.007	9.16	40	8	0.03	0.03	0.2
P3-2	7.9	31.0	5.43	1.87	6.40	185.0	0.010	9.01	38	11	0.03	0.03	0.2
P4-1	7.7	31.0	5.56	1.94	29.00	186.4	0.015	15.96	40	9	0.04	0.05	0.3
P4-2	7.8	30.8	5.87	1.56	25.40	184.2	0.014	15.15	40	10	0.04	0.04	0.2
P5-1	7.8	31.6	6.10	2.69	11.90	189.1	0.015	16.08	38	12	0.03	0.05	0.2
P5-2	7.8	31.3	5.20	2.25	9.58	189.2	0.015	15.57	40	10	0.03	0.04	0.3
P5-3	7.9	31.0	5.85	2.03	9.88	189.2	0.012	12.56	38	11	0.03	0.04	0.3
P6-1	7.8	31.1	4.95	1.94	4.31	187.0	0.012	16.54	40	12	0.03	0.03	0.2
P6-2	7.8	31.0	5.11	1.85	3.42	187.5	0.014	15.20	40	7	0.03	0.03	0.2
P7-1	7.8	32.0	6.25	2.13	8.42	188.3	0.019	12.56	36	8	0.02	0.04	0.2
P7-2	7.7	31.8	5.75	2.50	8.62	188.7	0.017	14.22	36	7	0.03	0.04	0.2
P7-3	7.7	31.2	4.76	1.88	8.78	188.9	0.014	13.31	36	4	0.03	0.03	0.2
P8-1	7.7	31.5	6.30	2.31	14.3	189.0	0.014	14.76	36	7	0.02	0.04	0.2
P8-2	7.7	31.1	5.50	2.50	5.03	188.8	0.012	13.67	38	9	0.03	0.04	0.2
P8-3	7.6	31.0	4.49	2.19	4.84	189.2	0.015	8.49	38	8	0.03	0.04	0.2

ตารางผนวกที่ ก3 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมิถุนายน 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.9	30.2	5.12	1.50	3.35	180.0	0.008	11.38	44	6	0.03	0.03	0.1
P1-2	7.9	30.1	5.05	1.44	4.68	184.0	0.008	9.16	44	10	0.03	0.03	0.1
P2-1	7.7	31.2	5.85	1.06	4.08	182.9	0.015	10.78	46	10	0.03	0.04	0.1
P2-2	7.9	31.0	5.18	0.63	4.35	183.9	0.015	8.93	44	8	0.04	0.05	0.1
P3-1	7.8	31.1	5.65	0.94	5.91	178.9	0.014	11.37	40	10	0.03	0.03	0.2
P3-2	7.8	31.0	5.11	1.56	5.98	179.0	0.014	9.00	40	12	0.03	0.04	0.2
P4-1	7.8	30.0	5.38	1.56	8.85	183.3	0.017	11.97	40	12	0.05	0.07	0.3
P4-2	7.9	30.0	5.12	1.00	7.58	181.5	0.022	7.46	40	10	0.06	0.03	0.2
P5-1	8.0	30.7	6.73	1.69	4.23	181.6	0.012	18.75	40	11	0.03	0.07	0.3
P5-2	8.0	30.5	5.95	1.06	4.29	182.9	0.008	19.94	44	10	0.02	0.05	0.3
P5-3	8.0	30.4	5.29	1.00	4.85	183.0	0.012	18.24	46	12	0.03	0.05	0.3
P6-1	7.8	30.3	5.29	1.25	3.47	182.3	0.012	18.16	42	8	0.03	0.03	0.2
P6-2	7.8	30.4	4.67	2.19	5.26	181.8	0.010	15.95	44	12	0.03	0.03	0.2
P7-1	7.8	30.5	5.53	1.19	4.66	185.0	0.019	15.52	42	5	0.02	0.06	0.2
P7-2	7.8	30.5	5.02	0.94	5.57	178.4	0.019	14.88	42	5	0.04	0.07	0.2
P7-3	7.9	30.4	4.89	1.44	4.15	180.2	0.014	10.79	40	13	0.03	0.07	0.2
P8-1	8.0	30.7	5.92	1.56	3.86	184.1	0.014	16.46	42	8	0.03	0.05	0.2
P8-2	7.9	30.6	5.65	0.88	3.90	181.2	0.014	15.80	42	10	0.03	0.05	0.2
P8-3	7.9	30.5	5.02	0.62	4.76	183.0	0.015	9.16	42	8	0.03	0.04	0.2

ตารางผนวกที่ ก4 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกรกฎาคม 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	8.0	29.7	5.75	1.63	15.40	155.7	0.012	17.14	38	5	0.06	0.08	0.2
P1-2	7.9	29.2	5.31	1.00	13.60	153.3	0.025	17.14	38	10	0.05	0.09	0.2
P2-1	7.9	29.6	5.90	1.13	13.10	155.0	0.012	24.09	40	24	0.03	0.09	0.2
P2-2	7.9	29.5	5.40	2.06	16.20	154.1	0.044	13.59	40	26	0.03	0.11	0.3
P3-1	8.0	29.8	5.90	2.50	25.90	153.7	0.017	58.59	38	22	0.05	0.07	0.3
P3-2	7.9	29.5	5.24	1.75	12.10	155.5	0.014	12.56	38	10	0.04	0.08	0.3
P4-1	8.0	29.7	6.01	1.69	21.10	153.0	0.024	54.68	42	20	0.05	0.14	0.3
P4-2	8.1	29.4	5.06	1.81	30.60	153.3	0.034	18.32	40	6	0.07	0.14	0.4
P5-1	8.0	30.0	6.57	1.25	12.20	154.7	0.020	32.22	40	6	0.09	0.07	0.2
P5-2	7.9	29.8	5.30	1.69	7.52	153.7	0.008	14.94	38	6	0.09	0.08	0.2
P5-3	7.9	29.8	4.38	1.13	10.30	155.6	0.015	14.93	38	4	0.06	0.08	0.2
P6-1	7.8	29.5	6.08	1.94	7.61	157.4	0.022	10.86	38	4	0.02	0.06	0.2
P6-2	7.8	29.2	4.95	1.94	6.76	157.5	0.014	10.19	38	5	0.02	0.08	0.2
P7-1	7.9	29.7	5.73	1.69	10.10	156.4	0.017	28.07	38	10	0.03	0.05	0.2
P7-2	7.9	29.5	5.49	1.69	8.00	154.7	0.010	21.21	38	5	0.03	0.05	0.2
P7-3	7.9	29.4	4.73	1.63	6.90	153.5	0.012	17.73	38	6	0.03	0.05	0.2
P8-1	7.9	29.9	6.08	1.75	10.90	154.4	0.020	33.84	38	8	0.03	0.07	0.2
P8-2	7.9	29.7	5.57	2.00	10.60	155.1	0.017	22.39	38	10	0.02	0.06	0.2
P8-3	7.9	29.7	4.61	2.13	6.80	156.1	0.019	18.35	38	6	0.02	0.06	0.2

ตารางผนวกที่ ก5 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนสิงหาคม 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.8	29.3	5.81	1.75	11.50	187.9	0.037	41.35	38	12	0.11	0.09	0.2
P1-2	8.2	29.2	5.02	1.31	14.10	189.2	0.041	27.56	38	10	0.13	0.05	0.2
P2-1	8.0	29.6	5.59	1.63	9.25	175.0	0.071	48.77	36	11	0.09	0.06	0.2
P2-2	7.8	29.5	5.04	1.63	15.60	160.5	0.054	34.44	38	13	0.12	0.06	0.2
P3-1	7.9	30.1	6.19	2.75	22.80	181.7	0.064	76.33	40	18	0.12	0.06	0.2
P3-2	8.3	29.8	5.90	1.69	18.90	171.2	0.063	47.66	38	11	0.17	0.05	0.2
P4-1	8.1	30.1	5.81	4.06	21.40	167.1	0.085	82.09	36	20	0.12	0.14	0.3
P4-2	8.1	29.4	5.04	3.94	27.70	175.8	0.066	71.16	40	32	0.24	0.13	0.4
P5-1	8.1	30.0	6.19	2.19	22.10	169.4	0.047	46.40	40	16	0.12	0.07	0.3
P5-2	8.0	29.7	5.91	2.13	20.10	161.5	0.034	35.62	38	20	0.09	0.06	0.2
P5-3	7.9	29.7	5.32	1.63	18.40	185.0	0.037	39.68	40	16	0.06	0.07	0.3
P6-1	7.9	29.9	5.85	1.13	28.70	171.6	0.059	32.22	40	20	0.09	0.09	0.2
P6-2	7.9	29.8	4.88	1.50	14.90	164.3	0.083	32.22	38	8	0.09	0.07	0.2
P7-1	7.9	30.2	6.16	2.38	20.20	166.2	0.044	34.32	38	12	0.08	0.06	0.2
P7-2	7.9	27.9	5.96	2.38	23.80	190.9	0.049	35.77	38	15	0.09	0.05	0.2
P7-3	8.0	29.9	5.57	1.75	22.50	179.1	0.071	30.80	38	14	0.08	0.08	0.2
P8-1	8.0	30.1	5.80	2.63	34.70	180.1	0.032	50.47	38	17	0.1	0.07	0.2
P8-2	8.0	30.0	5.42	2.19	22.50	165.0	0.047	42.09	38	11	0.09	0.07	0.2
P8-3	8.0	29.8	5.04	0.81	16.60	157.9	0.074	30.43	38	8	0.1	0.09	0.3

ตารางผนวกที่ 6 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกันยายน 2556

site	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mg-P/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	8.0	29.1	5.62	2.25	48.20	154.2	0.014	21.21	40	38	0.07	0.09	0.3
P1-2	8.0	29.0	4.77	2.88	48.50	152.6	0.019	15.95	40	44	0.10	0.15	0.3
P2-1	8.2	29.8	5.70	3.50	46.90	155.7	0.008	25.45	38	42	0.05	0.07	0.2
P2-2	8.2	29.6	4.71	3.25	48.60	154.3	0.020	15.94	38	40	0.06	0.14	0.3
P3-1	8.1	29.2	5.41	2.13	36.70	151.4	0.014	26.47	38	23	0.04	0.06	0.2
P3-2	8.0	29.0	4.34	2.31	37.70	150.4	0.020	16.63	36	19	0.05	0.16	0.3
P4-1	8.0	29.5	5.45	2.44	40.70	159.3	0.017	18.41	40	33	0.05	0.08	0.3
P4-2	7.9	29.5	4.47	2.25	52.90	155.7	0.027	16.11	40	49	0.08	0.13	0.4
P5-1	8.2	29.2	4.51	3.06	47.10	157.0	0.019	23.74	38	35	0.06	0.10	0.4
P5-2	8.2	28.8	4.18	3.00	42.30	160.1	0.015	15.52	40	28	0.07	0.13	0.3
P5-3	8.2	28.8	3.85	2.88	38.80	156.1	0.017	9.84	38	29	0.05	0.04	0.2
P6-1	8.1	29.7	4.56	4.38	61.60	155.6	0.015	28.92	38	41	0.08	0.05	0.3
P6-2	8.0	29.1	4.27	3.63	58.50	155.3	0.020	11.69	40	41	0.03	0.07	0.3
P7-1	8.2	29.5	5.31	3.13	58.50	156.1	0.015	29.14	40	35	0.03	0.04	0.3
P7-2	8.2	29.2	4.39	3.81	58.70	178.6	0.014	18.91	40	36	0.08	0.05	0.3
P7-3	8.2	28.9	3.89	2.38	58.40	155.3	0.020	10.06	40	42	0.10	0.07	0.3
P8-1	8.2	29.2	5.12	3.25	45.10	161.0	0.014	30.87	40	32	0.02	0.05	0.3
P8-2	8.2	29.0	4.26	2.25	45.40	159.8	0.020	20.94	38	31	0.06	0.05	0.3
P8-3	8.3	28.7	3.84	2.75	45.30	155.9	0.022	10.57	38	42	0.08	0.06	0.3

ตารางผนวกที่ ก7 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนตุลาคม 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	NH ₃ (mgN/L)	NO ₃ ⁻ (mgN/L)
P1-1	8.1	29.0	5.17	1.31	24.10	152.0	0.044	18.92	40	17	0.23	0.18	0.5
P1-2	8.0	28.6	4.88	0.88	23.30	142.6	0.042	17.14	40	13	0.23	0.19	0.5
P2-1	8.0	29.2	5.41	1.38	22.90	144.5	0.047	28.07	38	18	0.23	0.15	0.6
P2-2	7.9	28.7	4.40	1.00	23.10	142.7	0.051	13.15	38	14	0.33	0.18	0.5
P3-1	7.8	29.5	5.43	1.69	31.20	143.4	0.056	57.45	36	24	0.33	0.18	0.5
P3-2	7.6	28.7	4.44	0.81	34.90	140.7	0.069	15.68	40	19	0.38	0.21	0.5
P4-1	7.8	29.4	4.80	1.81	32.10	139.9	0.034	30.44	40	15	0.36	0.19	0.5
P4-2	7.8	28.9	4.31	1.25	25.70	143.6	0.039	12.05	38	12	0.31	0.16	0.5
P5-1	7.9	28.6	5.40	1.88	33.40	141.8	0.034	59.11	42	17	0.21	0.16	0.5
P5-2	7.9	28.3	4.57	1.50	31.60	144.8	0.039	50.30	40	10	0.18	0.15	0.5
P5-3	8.1	28.2	4.03	1.81	24.40	144.4	0.041	25.78	38	4	0.18	0.18	0.6
P6-1	8.2	28.9	5.68	1.31	30.50	145.0	0.042	45.29	36	19	0.20	0.19	0.5
P6-2	8.1	28.5	4.81	0.94	30.40	143.3	0.044	32.54	38	11	0.21	0.17	0.5
P7-1	8.2	28.7	6.20	0.94	31.80	161.1	0.036	39.01	38	18	0.20	0.15	0.4
P7-2	8.2	28.4	4.94	0.81	23.90	146.7	0.037	21.80	36	7	0.17	0.14	0.4
P7-3	8.1	28.3	4.43	1.19	24.40	139.8	0.039	13.06	40	8	0.19	0.14	0.5
P8-1	8.0	28.5	5.59	1.06	30.40	141.8	0.036	45.88	40	10	0.18	0.17	0.5
P8-2	8.1	28.3	4.55	0.88	25.00	142.2	0.039	15.52	40	9	0.18	0.16	0.5
P8-3	8.1	28.3	4.01	1.31	23.50	147.9	0.039	10.43	40	7	0.19	0.16	0.6

ตารางผนวกที่ ๓8 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนพฤศจิกายน 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.4	28.5	5.66	2.56	10.90	141.9	0.032	54.29	40	17	0.06	0.08	0.3
P1-2	7.4	28.3	5.30	2.19	8.34	141.2	0.029	51.92	44	7	0.10	0.10	0.4
P2-1	7.4	28.4	5.02	2.19	6.99	143.0	0.014	36.45	44	11	0.10	0.10	0.3
P2-2	7.4	28.2	4.58	2.63	6.09	143.0	0.017	33.60	40	6	0.08	0.12	0.4
P3-1	7.4	28.1	3.71	2.38	4.98	142.8	0.015	32.22	42	10	0.09	0.05	0.4
P3-2	7.4	27.9	3.43	2.44	4.88	144.3	0.020	26.73	42	6	0.12	0.04	0.3
P4-1	7.5	28.0	3.82	2.50	4.75	145.2	0.019	42.52	40	14	0.10	0.10	0.4
P4-2	7.6	27.9	3.31	2.94	8.77	144.1	0.007	30.80	44	15	0.13	0.08	0.4
P5-1	7.6	28.8	4.22	2.44	6.82	148.7	0.014	32.14	42	16	0.02	0.04	0.4
P5-2	7.6	28.3	3.32	2.50	6.04	144.3	0.020	19.58	42	13	0.04	0.06	0.4
P5-3	7.6	29.0	3.07	1.94	3.37	144.7	0.010	13.26	42	9	0.03	0.04	0.4
P6-1	7.7	28.8	5.54	1.81	9.35	143.1	0.027	42.67	46	15	0.03	0.03	0.3
P6-2	7.7	28.3	4.26	2.19	4.47	142.5	0.025	30.36	44	10	0.04	0.05	0.4
P7-1	7.8	28.6	5.63	1.94	10.50	145.1	0.014	42.71	48	11	0.04	0.04	0.4
P7-2	7.8	28.3	4.85	2.06	6.91	142.9	0.012	39.29	46	8	0.10	0.03	0.4
P7-3	7.8	28.2	4.27	1.63	6.20	143.5	0.008	29.78	46	5	0.08	0.03	0.4
P8-1	7.9	28.8	5.86	1.44	10.90	143.4	0.017	39.69	46	11	0.03	0.03	0.3
P8-2	7.8	28.3	4.82	1.75	7.17	143.2	0.015	37.07	44	5	0.04	0.04	0.4
P8-3	7.8	28.2	4.13	1.69	6.75	143.5	0.010	29.53	44	2	0.03	0.04	0.4

ตารางผนวกที่ ๑๑ คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนธันวาคม 2556

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.5	30.2	7.05	2.50	5.52	159.1	0.017	32.07	48	9	0.05	0.06	0.4
P1-2	7.4	29.7	6.04	2.44	5.04	166.1	0.020	31.63	48	5	0.04	0.06	0.3
P2-1	7.5	28.9	6.89	2.38	5.74	166.4	0.019	32.15	48	7	0.06	0.06	0.4
P2-2	7.4	27.4	5.60	1.88	3.62	175.9	0.022	31.55	46	9	0.07	0.07	0.4
P3-1	7.3	28.6	7.23	2.50	8.89	163.3	0.017	28.40	46	10	0.08	0.08	0.4
P3-2	7.3	28.0	6.01	2.88	6.10	170.3	0.024	26.97	44	6	0.08	0.07	0.5
P4-1	7.3	28.7	7.01	2.06	8.39	184.5	0.025	32.14	50	12	0.07	0.07	0.4
P4-2	7.3	28.0	6.13	2.75	5.80	158.9	0.036	32.66	48	8	0.07	0.09	0.4
P5-1	7.8	29.2	7.14	2.44	10.30	155.1	0.024	33.01	46	14	0.03	0.07	0.3
P5-2	7.8	28.4	6.14	1.88	7.64	155.2	0.012	21.21	46	9	0.03	0.09	0.3
P5-3	7.8	27.3	5.23	1.81	4.88	155.4	0.010	21.88	46	8	0.04	0.09	0.4
P6-1	7.8	29.7	7.10	1.38	9.04	158.2	0.025	32.14	44	13	0.03	0.10	0.3
P6-2	7.8	29.7	6.07	2.00	6.40	156.4	0.019	23.50	42	10	0.03	0.09	0.3
P7-1	7.9	29.6	7.32	2.50	11.20	153.5	0.039	27.43	48	18	0.03	0.08	0.3
P7-2	7.9	28.7	6.65	1.94	5.60	155.3	0.025	22.90	46	13	0.04	0.09	0.3
P7-3	7.9	27.3	5.27	2.06	5.15	155.2	0.012	23.58	46	7	0.05	0.09	0.2
P8-1	7.8	29.6	7.20	1.75	9.73	153.7	0.022	29.02	46	14	0.04	0.08	0.3
P8-2	7.8	28.0	6.32	1.88	6.23	154.6	0.014	25.28	46	11	0.04	0.10	0.3
P8-3	7.8	27.5	5.85	1.75	5.13	155.9	0.015	25.43	48	9	0.05	0.09	0.3

ตารางผนวกที่ 10 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมกราคม 2557

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.8	27.8	6.81	1.81	5.72	157.3	0.014	19.70	50	5	0.07	0.07	0.3
P1-2	7.8	27.4	4.23	1.88	5.82	159.8	0.012	17.57	50	2	0.07	0.08	0.4
P2-1	7.7	27.8	4.20	1.31	5.26	157.4	0.017	17.57	54	4	0.05	0.05	0.4
P2-2	7.7	26.9	6.44	2.00	5.72	157.7	0.025	18.39	52	4	0.07	0.08	0.5
P3-1	7.7	27.4	6.32	1.31	6.13	156.4	0.024	18.68	54	5	0.07	0.07	0.4
P3-2	7.7	27.0	4.47	2.38	7.66	162.0	0.024	16.55	52	9	0.08	0.09	0.5
P4-1	7.6	27.8	6.38	1.75	7.84	156.7	0.019	22.16	52	1	0.08	0.06	0.4
P4-2	7.6	27.3	4.95	2.06	5.69	158.2	0.019	20.96	54	2	0.09	0.06	0.4
P5-1	7.9	28.3	7.15	1.25	6.29	157.7	0.014	17.73	54	6	0.06	0.06	0.4
P5-2	7.8	28.1	5.98	1.94	5.52	159.9	0.019	16.47	52	4	0.06	0.06	0.4
P5-3	7.9	27.8	4.12	2.13	5.22	155.9	0.020	14.37	54	7	0.07	0.06	0.4
P6-1	7.9	27.9	6.98	2.13	7.20	158.0	0.020	21.04	56	7	0.05	0.05	0.4
P6-2	7.8	28.3	5.19	1.88	5.29	158.8	0.022	19.86	52	8	0.05	0.05	0.4
P7-1	7.7	28.1	6.89	1.50	6.15	156.0	0.017	17.73	56	8	0.06	0.06	0.4
P7-2	7.8	27.8	6.14	1.13	6.01	158.3	0.019	21.80	56	4	0.05	0.04	0.4
P7-3	7.7	27.5	5.13	1.81	6.81	158.7	0.020	22.94	56	3	0.06	0.05	0.4
P8-1	7.8	28.2	7.01	1.94	6.01	158.8	0.022	18.32	56	6	0.05	0.05	0.4
P8-2	7.8	27.9	6.29	2.00	5.03	156.4	0.022	17.73	52	8	0.07	0.03	0.4
P8-3	7.8	27.6	5.24	1.94	6.39	157.2	0.019	18.09	52	5	0.06	0.03	0.3

ตารางผนวกที่ ก11 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนกุมภาพันธ์ 2557

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.9	30.2	5.12	0.81	3.35	168.3	0.012	10.22	48	6	0.05	0.04	0.4
P1-2	7.9	30.1	5.05	1.06	4.68	167.4	0.008	9.27	48	8	0.05	0.03	0.3
P2-1	7.7	31.2	5.85	1.06	4.08	169.8	0.015	9.87	50	7	0.06	0.04	0.3
P2-2	7.9	31.0	5.18	0.75	4.35	170.2	0.014	9.50	48	6	0.05	0.04	0.3
P3-1	7.8	31.1	5.65	1.06	5.91	165.4	0.015	10.38	50	8	0.05	0.04	0.3
P3-2	7.8	31.0	5.11	1.13	5.98	166.4	0.014	9.44	48	7	0.05	0.03	0.4
P4-1	7.8	30.0	5.38	1.25	8.85	167.4	0.019	10.31	48	10	0.06	0.05	0.4
P4-2	7.9	30.0	5.12	1.19	7.58	167.8	0.020	9.70	48	8	0.05	0.04	0.4
P5-1	8.0	30.7	6.73	0.87	4.23	168.6	0.014	10.03	48	6	0.04	0.04	0.3
P5-2	8.0	30.5	5.95	1.19	4.29	169.5	0.015	9.95	46	4	0.04	0.04	0.3
P5-3	8.0	30.4	5.29	1.06	4.85	169.7	0.012	8.44	46	5	0.04	0.03	0.2
P6-1	7.8	30.3	5.29	0.81	3.47	168.9	0.012	9.79	48	8	0.05	0.03	0.3
P6-2	7.8	30.4	4.67	0.94	5.26	169.1	0.012	8.01	48	6	0.04	0.03	0.3
P7-1	7.8	30.5	5.53	1.00	4.66	168.1	0.014	9.43	48	4	0.04	0.03	0.3
P7-2	7.8	30.5	5.02	1.38	5.57	168.8	0.014	8.76	46	3	0.03	0.04	0.3
P7-3	7.9	30.4	4.89	0.94	4.15	169.2	0.012	8.13	46	4	0.04	0.03	0.2
P8-1	8.0	30.7	5.92	0.75	3.86	167.2	0.012	9.44	48	6	0.04	0.04	0.3
P8-2	7.9	30.6	5.65	0.81	3.9	167.9	0.012	8.84	48	4	0.04	0.03	0.2
P8-3	7.9	30.5	5.02	0.88	4.76	168.0	0.012	8.01	46	3	0.03	0.03	0.3

ตารางผนวกที่ ก12 คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำบางพระของเดือนมีนาคม 2557

Point	pH	Temp (°C)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (µS/cm)	Orthophosphate (mgP/L)	Chlorophyll a (µg/L)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	SS (mg/L)	Iron (mg/L)	Amonia (mgN/L)	Nitrate (mgN/L)
P1-1	7.9	31.2	6.12	0.94	4.42	179.5	0.012	7.55	38	9	0.02	0.03	0.3
P1-2	7.8	30.8	5.45	0.50	3.58	179.6	0.014	7.06	40	8	0.03	0.03	0.3
P2-1	7.8	31.5	6.26	1.00	4.41	180.1	0.015	8.46	40	5	0.02	0.04	0.2
P2-2	7.8	31.2	5.85	0.75	4.32	180.5	0.014	8.41	38	8	0.02	0.03	0.3
P3-1	7.9	31.1	5.70	0.94	5.41	179.7	0.014	7.98	42	7	0.02	0.03	0.3
P3-2	7.8	30.5	5.14	1.19	5.61	179.9	0.014	7.97	40	4	0.03	0.04	0.4
P4-1	7.8	31.3	6.44	1.19	4.98	180.1	0.015	9.57	38	3	0.03	0.03	0.3
P4-2	7.9	30.7	5.96	1.06	4.87	179.8	0.012	8.13	40	5	0.03	0.03	0.4
P5-1	7.8	31.1	5.86	0.94	4.84	179.4	0.014	8.65	38	8	0.02	0.03	0.3
P5-2	7.8	30.8	5.41	0.63	4.99	179.9	0.015	8.41	38	9	0.02	0.03	0.3
P5-3	7.9	29.8	5.09	0.63	4.74	180.2	0.015	7.98	40	4	0.02	0.04	0.3
P6-1	8.0	30.9	5.87	0.94	5.31	180.6	0.014	7.74	42	7	0.03	0.03	0.3
P6-2	7.9	30.4	5.36	1.06	5.12	180.4	0.012	7.98	40	5	0.02	0.04	0.3
P7-1	7.9	31.4	6.15	1.06	5.14	179.8	0.015	8.46	40	5	0.02	0.03	0.3
P7-2	8.0	30.7	6.01	0.81	5.41	179.4	0.014	8.73	38	8	0.03	0.03	0.3
P7-3	7.9	29.9	5.86	0.94	5.22	179.5	0.014	7.46	38	7	0.02	0.03	0.4
P8-1	7.9	31.2	5.87	0.69	5.41	180.4	0.012	8.57	38	4	0.02	0.03	0.4
P8-2	8.0	30.5	5.57	0.88	4.74	180.1	0.008	8.38	38	5	0.03	0.04	0.3
P8-3	7.9	29.8	5.02	0.94	4.66	179.9	0.010	7.54	36	3	0.02	0.03	0.3

ตารางผนวกที่ ก13 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนเมษายน 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.001	0.021	0.006	0.004	0.020	0.005	0.003	0.229	11.45
P1-2	0.000	0.018	0.006	0.002	0.018	0.006	0.002	0.204	10.20
P2-1	0.002	0.023	0.008	0.004	0.021	0.006	0.002	0.239	11.97
P2-2	0.002	0.019	0.006	0.010	0.017	0.004	0.008	0.195	9.73
P3-1	0.003	0.024	0.008	0.007	0.021	0.005	0.004	0.241	12.04
P3-2	0.004	0.024	0.011	0.013	0.020	0.007	0.009	0.226	11.28
P4-1	0.000	0.023	0.008	0.004	0.023	0.008	0.004	0.260	13.00
P4-2	0.010	0.032	0.016	0.012	0.022	0.006	0.002	0.251	12.57
P5-1	0.002	0.032	0.017	0.013	0.030	0.015	0.011	0.332	16.58
P5-2	0.001	0.029	0.021	0.015	0.028	0.020	0.014	0.300	14.99
P5-3	0.003	0.023	0.014	0.008	0.020	0.011	0.005	0.220	10.98
P6-1	0.004	0.029	0.011	0.010	0.025	0.007	0.006	0.285	14.25
P6-2	0.003	0.025	0.011	0.007	0.022	0.008	0.004	0.248	12.40
P7-1	0.003	0.022	0.007	0.004	0.019	0.004	0.001	0.219	10.95
P7-2	0.001	0.020	0.010	0.006	0.019	0.009	0.005	0.211	10.54
P7-3	0.002	0.020	0.007	0.004	0.018	0.005	0.002	0.205	10.27
P8-1	0.002	0.024	0.009	0.006	0.022	0.007	0.004	0.250	12.48
P8-2	0.003	0.024	0.012	0.008	0.021	0.009	0.005	0.235	11.73
P8-3	0.004	0.023	0.005	0.012	0.019	0.001	0.008	0.223	11.15

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ก

ตารางผนวกที่ ก14 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนพฤษภาคม 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ * (µg/L)
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.004	0.023	0.009	0.007	0.019	0.005	0.003	0.217	10.86
P1-2	0.004	0.023	0.009	0.011	0.019	0.005	0.007	0.217	10.84
P2-1	0.013	0.046	0.022	0.014	0.033	0.009	0.001	0.377	18.86
P2-2	0.002	0.029	0.009	0.011	0.027	0.007	0.009	0.308	15.42
P3-1	0.003	0.019	0.007	0.006	0.016	0.004	0.003	0.183	9.16
P3-2	0.002	0.018	0.008	0.005	0.016	0.006	0.003	0.180	9.01
P4-1	0.010	0.038	0.018	0.014	0.028	0.008	0.004	0.319	15.96
P4-2	0.005	0.031	0.008	0.012	0.026	0.003	0.007	0.303	15.15
P5-1	0.022	0.053	0.050	0.055	0.031	0.028	0.033	0.322	16.08
P5-2	0.004	0.033	0.024	0.021	0.029	0.020	0.017	0.311	15.57
P5-3	0.006	0.028	0.012	0.010	0.022	0.006	0.004	0.251	12.56
P6-1	0.009	0.038	0.017	0.015	0.029	0.008	0.006	0.331	16.54
P6-2	0.002	0.029	0.012	0.010	0.027	0.010	0.008	0.304	15.20
P7-1	0.002	0.024	0.008	0.006	0.022	0.006	0.004	0.251	12.56
P7-2	0.005	0.029	0.005	0.004	0.024	0.000	-0.001	0.284	14.22
P7-3	0.004	0.027	0.008	0.006	0.023	0.004	0.002	0.266	13.31
P8-1	0.002	0.028	0.010	0.009	0.026	0.008	0.007	0.295	14.76
P8-2	0.001	0.025	0.008	0.004	0.024	0.007	0.003	0.273	13.67
P8-3	0.004	0.023	0.009	0.007	0.019	0.005	0.003	0.217	8.49

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก15 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมิถุนายน 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.002	0.022	0.008	0.005	0.020	0.006	0.003	0.228	11.38
P1-2	0.005	0.02	0.009	0.007	0.016	0.004	0.002	0.183	9.16
P2-1	0.001	0.020	0.007	0.004	0.019	0.006	0.003	0.216	10.78
P2-2	0.004	0.020	0.011	0.008	0.016	0.007	0.004	0.179	8.93
P3-1	0.005	0.025	0.011	0.010	0.020	0.006	0.005	0.227	11.37
P3-2	0.004	0.020	0.010	0.008	0.016	0.006	0.004	0.180	9.00
P4-1	0.004	0.025	0.010	0.008	0.021	0.006	0.004	0.239	11.96
P4-2	0.002	0.015	0.005	0.004	0.013	0.003	0.002	0.149	7.46
P5-1	0.004	0.037	0.014	0.011	0.033	0.010	0.007	0.375	18.75
P5-2	0.000	0.035	0.010	0.007	0.035	0.010	0.007	0.399	19.94
P5-3	0.000	0.032	0.009	0.006	0.032	0.009	0.006	0.365	18.24
P6-1	0.000	0.032	0.010	0.007	0.032	0.010	0.007	0.363	18.16
P6-2	0.000	0.028	0.008	0.005	0.028	0.008	0.005	0.319	15.95
P7-1	0.000	0.027	0.006	0.004	0.027	0.006	0.004	0.310	15.52
P7-2	0.002	0.029	0.016	0.013	0.027	0.014	0.011	0.298	14.88
P7-3	0.007	0.026	0.013	0.009	0.019	0.006	0.002	0.216	10.79
P8-1	0.002	0.031	0.011	0.009	0.029	0.009	0.007	0.329	16.46
P8-2	0.002	0.030	0.012	0.008	0.028	0.010	0.006	0.316	15.80
P8-3	0.004	0.020	0.008	0.006	0.016	0.004	0.002	0.183	9.16

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก16 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกรกฎาคม 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ * (µg/L)
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.000	0.015	0.004	0.003	0.015	0.004	0.003	0.171	17.14
P1-2	0.004	0.02	0.008	0.007	0.015	0.004	0.003	0.171	17.14
P2-1	0.000	0.021	0.005	0.003	0.021	0.005	0.003	0.241	24.09
P2-2	0.000	0.012	0.004	0.002	0.012	0.004	0.002	0.136	13.59
P3-1	0.001	0.082	0.020	0.014	0.052	0.019	0.013	0.586	58.59
P3-2	0.002	0.013	0.005	0.004	0.011	0.003	0.002	0.126	12.56
P4-1	0.001	0.098	0.036	0.025	0.097	0.035	0.024	1.094	54.68
P4-2	0.001	0.017	0.005	0.004	0.016	0.004	0.003	0.183	18.32
P5-1	0.000	0.028	0.006	0.004	0.028	0.006	0.004	0.322	32.22
P5-2	0.000	0.013	0.003	0.001	0.013	0.003	0.001	0.149	14.94
P5-3	0.000	0.013	0.003	0.002	0.013	0.003	0.002	0.149	14.93
P6-1	0.002	0.021	0.007	0.006	0.019	0.005	0.004	0.217	10.86
P6-2	0.002	0.020	0.008	0.006	0.018	0.006	0.004	0.204	10.19
P7-1	0.000	0.049	0.012	0.009	0.049	0.012	0.009	0.561	28.07
P7-2	0.006	0.043	0.015	0.012	0.037	0.009	0.006	0.424	21.21
P7-3	0.005	0.036	0.013	0.011	0.031	0.008	0.006	0.355	17.73
P8-1	0.003	0.062	0.017	0.013	0.059	0.014	0.010	0.677	33.84
P8-2	0.002	0.041	0.011	0.008	0.039	0.009	0.006	0.448	22.39
P8-3	0.002	0.035	0.017	0.014	0.033	0.015	0.012	0.367	18.35

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก17 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนสิงหาคม 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	-0.020	0.054	0.011	0.007	0.074	0.031	0.027	0.827	41.35
P1-2	0.003	0.05	0.014	0.011	0.048	0.011	0.008	0.551	27.56
P2-1	0.003	0.088	0.023	0.017	0.085	0.020	0.014	0.975	48.77
P2-2	-0.001	0.059	0.013	0.008	0.060	0.014	0.009	0.689	34.44
P3-1	-0.002	0.131	0.029	0.019	0.133	0.031	0.021	1.527	76.33
P3-2	0.001	0.084	0.020	0.014	0.083	0.019	0.013	0.953	47.66
P4-1	0.000	0.143	0.033	0.023	0.143	0.033	0.023	1.642	82.09
P4-2	-0.002	0.122	0.027	0.018	0.124	0.029	0.020	1.423	71.16
P5-1	0.000	0.081	0.020	0.014	0.081	0.020	0.014	0.928	46.40
P5-2	0.000	0.062	0.014	0.010	0.062	0.014	0.010	0.712	35.62
P5-3	0.000	0.069	0.015	0.011	0.069	0.015	0.011	0.794	39.68
P6-1	0.002	0.030	0.008	0.006	0.028	0.006	0.004	0.322	32.22
P6-2	0.091	0.119	0.097	0.095	0.028	0.006	0.004	0.322	32.22
P7-1	0.000	0.059	0.008	0.006	0.059	0.008	0.006	0.686	34.32
P7-2	0.000	0.062	0.012	0.011	0.062	0.012	0.011	0.715	35.77
P7-3	0.000	0.054	0.015	0.011	0.054	0.015	0.011	0.616	30.80
P8-1	0.000	0.088	0.021	0.013	0.088	0.021	0.013	1.009	50.47
P8-2	0.005	0.079	0.027	0.021	0.074	0.022	0.016	0.842	42.09
P8-3	-0.001	0.052	0.011	0.011	0.053	0.012	0.012	0.609	30.43

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก18 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกันยายน 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ * (µg/L)
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	-0.008	0.029	0.001	-0.003	0.037	0.009	0.005	0.424	21.21
P1-2	-0.007	0.02	0.001	-0.001	0.028	0.008	0.006	0.319	15.95
P2-1	-0.003	0.042	0.013	-0.008	0.045	0.016	-0.005	0.509	25.45
P2-2	-0.007	0.023	0.016	0.009	0.030	0.023	0.016	0.319	15.94
P3-1	-0.005	0.041	0.005	0.000	0.046	0.010	0.005	0.529	26.47
P3-2	-0.005	0.024	0.002	-0.001	0.029	0.007	0.004	0.333	16.63
P4-1	-0.005	0.027	0.002	-0.001	0.032	0.007	0.004	0.368	18.41
P4-2	-0.005	0.023	0.001	-0.001	0.028	0.006	0.004	0.322	16.11
P5-1	-0.004	0.037	0.003	-0.001	0.041	0.007	0.003	0.475	23.74
P5-2	-0.004	0.023	0.002	-0.001	0.027	0.006	0.003	0.310	15.52
P5-3	-0.001	0.016	0.002	-0.001	0.017	0.003	0.000	0.197	9.84
P6-1	0.000	0.050	0.009	0.004	0.050	0.009	0.004	0.578	28.92
P6-2	-0.002	0.018	0.000	-0.001	0.020	0.002	0.001	0.234	11.69
P7-1	-0.001	0.051	0.020	0.013	0.052	0.021	0.014	0.583	29.14
P7-2	-0.006	0.027	0.002	0.001	0.033	0.008	0.007	0.378	18.91
P7-3	0.001	0.018	0.001	0.003	0.017	0.000	0.002	0.201	10.06
P8-1	-0.002	0.050	-0.003	0.003	0.052	-0.001	0.005	0.617	30.87
P8-2	-0.002	0.033	-0.005	0.006	0.035	-0.003	0.008	0.419	20.94
P8-3	-0.002	0.016	-0.001	0.002	0.018	0.001	0.004	0.211	10.57

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ก

ตารางผนวกที่ ก19 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนตุลาคม 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ * (µg/L)
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.002	0.035	0.010	0.007	0.033	0.008	0.005	0.378	18.92
P1-2	0.000	0.03	0.008	0.005	0.030	0.008	0.005	0.343	17.14
P2-1	0.002	0.051	0.014	0.011	0.049	0.012	0.009	0.561	28.07
P2-2	0.012	0.035	0.018	0.017	0.023	0.006	0.005	0.263	13.15
P3-1	0.001	0.102	0.031	0.022	0.101	0.030	0.021	1.149	57.45
P3-2	0.001	0.028	0.005	0.003	0.027	0.004	0.002	0.314	15.68
P4-1	0.001	0.054	0.013	0.010	0.053	0.012	0.009	0.609	30.44
P4-2	0.006	0.027	0.011	0.008	0.021	0.005	0.002	0.241	12.05
P5-1	0.006	0.109	0.030	0.023	0.103	0.024	0.017	1.182	59.11
P5-2	0.001	0.089	0.024	0.018	0.088	0.023	0.017	1.006	50.30
P5-3	0.002	0.047	0.013	0.010	0.045	0.011	0.008	0.516	25.78
P6-1	0.002	0.081	0.021	0.016	0.079	0.019	0.014	0.906	45.29
P6-2	0.006	0.062	0.014	0.011	0.056	0.008	0.005	0.651	32.54
P7-1	0.009	0.077	0.025	0.020	0.068	0.016	0.011	0.780	39.01
P7-2	-0.001	0.037	0.008	0.005	0.038	0.009	0.006	0.436	21.80
P7-3	-0.001	0.022	0.006	0.005	0.023	0.007	0.006	0.261	13.06
P8-1	0.001	0.081	0.020	0.015	0.080	0.019	0.014	0.918	45.88
P8-2	0.001	0.028	0.007	0.004	0.027	0.006	0.003	0.310	15.52
P8-3	0.043	0.061	0.046	0.045	0.018	0.003	0.002	0.209	10.43

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก20 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนพฤศจิกายน 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.000	0.095	0.025	0.018	0.095	0.025	0.018	1.086	54.29
P1-2	-0.002	0.089	0.023	0.017	0.091	0.025	0.019	1.038	51.92
P2-1	0.001	0.064	0.012	0.009	0.063	0.011	0.008	0.729	36.45
P2-2	0.002	0.061	0.019	0.015	0.059	0.017	0.013	0.672	33.60
P3-1	-0.002	0.054	0.010	0.006	0.056	0.012	0.008	0.644	32.22
P3-2	0.000	0.047	0.014	0.010	0.047	0.014	0.010	0.535	26.73
P4-1	0.000	0.075	0.024	0.017	0.075	0.024	0.017	0.850	42.52
P4-2	0.003	0.057	0.018	0.014	0.054	0.015	0.011	0.616	30.80
P5-1	0.003	0.059	0.016	0.012	0.056	0.013	0.009	0.643	32.14
P5-2	-0.002	0.032	0.005	0.004	0.034	0.007	0.006	0.392	19.58
P5-3	-0.002	0.022	0.010	0.006	0.024	0.012	0.008	0.265	13.26
P6-1	0.000	0.077	0.037	0.027	0.077	0.037	0.027	0.853	42.67
P6-2	0.030	0.085	0.058	0.049	0.055	0.028	0.019	0.607	30.36
P7-1	0.012	0.090	0.057	0.021	0.078	0.045	0.009	0.854	42.71
P7-2	-0.001	0.068	0.019	0.012	0.069	0.020	0.013	0.786	39.29
P7-3	0.002	0.054	0.015	0.010	0.052	0.013	0.008	0.596	29.78
P8-1	0.002	0.071	0.017	0.012	0.069	0.015	0.010	0.794	39.69
P8-2	0.000	0.065	0.018	0.013	0.065	0.018	0.013	0.741	37.07
P8-3	0.007	0.059	0.023	0.018	0.052	0.016	0.011	0.591	29.53

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก21 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนธันวาคม 2556

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ * (µg/L)
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	-0.001	0.055	0.013	0.008	0.056	0.014	0.009	0.641	32.07
P1-2	-0.002	0.05	0.01	0.006	0.055	0.012	0.008	0.633	31.63
P2-1	0.000	0.056	0.013	0.008	0.056	0.013	0.008	0.643	32.15
P2-2	0.001	0.056	0.014	0.010	0.055	0.013	0.009	0.631	31.55
P3-1	0.002	0.051	0.010	0.005	0.049	0.008	0.003	0.568	28.40
P3-2	0.001	0.048	0.012	0.009	0.047	0.011	0.008	0.539	26.97
P4-1	0.000	0.056	0.013	0.009	0.056	0.013	0.009	0.643	32.14
P4-2	0.004	0.061	0.018	0.013	0.057	0.014	0.009	0.653	32.66
P5-1	0.003	0.061	0.020	0.014	0.058	0.017	0.011	0.660	33.01
P5-2	0.001	0.038	0.010	0.007	0.037	0.009	0.006	0.424	21.21
P5-3	0.000	0.038	0.008	0.005	0.038	0.008	0.005	0.438	21.88
P6-1	0.001	0.057	0.014	0.010	0.056	0.013	0.009	0.643	32.14
P6-2	0.000	0.041	0.010	0.006	0.041	0.010	0.006	0.470	23.50
P7-1	0.005	0.052	0.010	0.012	0.047	0.005	0.007	0.549	27.43
P7-2	0.000	0.040	0.010	0.007	0.040	0.010	0.007	0.458	22.90
P7-3	0.003	0.044	0.012	0.009	0.041	0.009	0.006	0.472	23.58
P8-1	0.001	0.052	0.016	0.011	0.051	0.015	0.010	0.580	29.02
P8-2	0.003	0.047	0.013	0.009	0.044	0.010	0.006	0.506	25.28
P8-3	0.003	0.047	0.011	0.009	0.044	0.008	0.006	0.509	25.43

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก22 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมกราคม 2557

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.003	0.038	0.016	0.012	0.035	0.013	0.009	0.394	19.70
P1-2	0.005	0.04	0.015	0.012	0.031	0.010	0.007	0.351	17.57
P2-1	0.005	0.036	0.015	0.012	0.031	0.010	0.007	0.351	17.57
P2-2	0.003	0.035	0.010	0.011	0.032	0.007	0.008	0.368	18.39
P3-1	0.002	0.035	0.013	0.009	0.033	0.011	0.007	0.374	18.68
P3-2	0.007	0.036	0.015	0.012	0.029	0.008	0.005	0.331	16.55
P4-1	0.002	0.041	0.014	0.009	0.039	0.012	0.007	0.443	22.16
P4-2	0.002	0.039	0.014	0.012	0.037	0.012	0.010	0.419	20.96
P5-1	0.001	0.032	0.009	0.006	0.031	0.008	0.005	0.355	17.73
P5-2	0.001	0.030	0.010	0.007	0.029	0.009	0.006	0.329	16.47
P5-3	0.002	0.028	0.015	0.011	0.026	0.013	0.009	0.287	14.37
P6-1	0.003	0.040	0.014	0.011	0.037	0.011	0.008	0.421	21.04
P6-2	0.003	0.038	0.014	0.011	0.035	0.011	0.008	0.397	19.86
P7-1	0.007	0.038	0.015	0.013	0.031	0.008	0.006	0.355	17.73
P7-2	0.000	0.038	0.009	0.006	0.038	0.009	0.006	0.436	21.80
P7-3	0.006	0.047	0.023	0.017	0.041	0.017	0.011	0.459	22.94
P8-1	0.001	0.033	0.009	0.006	0.032	0.008	0.005	0.366	18.32
P8-2	0.001	0.032	0.009	0.006	0.032	0.008	0.005	0.366	17.73
P8-3	0.010	0.042	0.021	0.017	0.032	0.011	0.007	0.362	18.09

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก23 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2557

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.003	0.022	0.016	0.012	0.019	0.013	0.009	0.204	10.22
P1-2	0.005	0.022	0.015	0.012	0.017	0.010	0.007	0.185	9.27
P2-1	0.005	0.023	0.015	0.012	0.018	0.010	0.007	0.197	9.87
P2-2	0.003	0.020	0.010	0.011	0.017	0.007	0.008	0.190	9.50
P3-1	0.002	0.021	0.013	0.009	0.019	0.011	0.007	0.208	10.38
P3-2	0.007	0.024	0.015	0.012	0.017	0.008	0.005	0.189	9.44
P4-1	0.002	0.021	0.014	0.009	0.019	0.012	0.007	0.206	10.31
P4-2	0.002	0.020	0.014	0.012	0.018	0.012	0.010	0.194	9.70
P5-1	0.001	0.019	0.009	0.006	0.018	0.008	0.005	0.201	10.03
P5-2	0.001	0.019	0.010	0.007	0.018	0.009	0.006	0.199	9.95
P5-3	0.002	0.018	0.015	0.011	0.016	0.013	0.009	0.169	8.44
P6-1	0.003	0.021	0.014	0.011	0.018	0.011	0.008	0.196	9.79
P6-2	0.003	0.018	0.014	0.011	0.015	0.011	0.008	0.160	8.01
P7-1	0.007	0.024	0.015	0.013	0.017	0.008	0.006	0.189	9.43
P7-2	0.000	0.016	0.009	0.006	0.016	0.009	0.006	0.175	8.76
P7-3	0.006	0.022	0.023	0.017	0.016	0.017	0.011	0.163	8.13
P8-1	0.001	0.018	0.009	0.006	0.017	0.008	0.005	0.189	9.44
P8-2	0.001	0.017	0.009	0.006	0.016	0.008	0.005	0.177	8.84
P8-3	0.010	0.025	0.021	0.017	0.015	0.011	0.007	0.160	8.01

* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก24 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเดือนมีนาคม 2557

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ค่าที่วัดได้				ปรับแก้ *			C _a *	คลอโรฟิลล์ เอ *
	750 nm	664 nm	647 nm	630 nm	664 nm	647 nm	630 nm		
P1-1	0.003	0.016	0.005	0.003	0.013	0.002	0.000	0.151	7.55
P1-2	0.002	0.015	0.01	0.008	0.013	0.008	0.006	0.141	7.06
P2-1	0.005	0.019	0.003	0.002	0.014	-0.002	-0.003	0.169	8.46
P2-2	0.006	0.022	0.02	0.003	0.016	0.014	-0.003	0.168	8.41
P3-1	0.001	0.015	0.005	0.004	0.014	0.004	0.003	0.160	7.98
P3-2	0.002	0.016	0.006	0.006	0.014	0.004	0.004	0.159	7.97
P4-1	0.005	0.021	0.004	0.002	0.016	-0.001	-0.003	0.191	9.57
P4-2	0.002	0.016	0.004	0.005	0.014	0.002	0.003	0.163	8.13
P5-1	0.003	0.018	0.006	0.004	0.015	0.003	0.001	0.173	8.65
P5-2	0.004	0.019	0.01	0.008	0.015	0.006	0.004	0.168	8.41
P5-3	0.002	0.016	0.006	0.005	0.014	0.004	0.003	0.160	7.98
P6-1	0.001	0.015	0.008	0.004	0.014	0.007	0.003	0.155	7.74
P6-2	0.000	0.014	0.004	0.002	0.014	0.004	0.002	0.160	7.98
P7-1	0.005	0.019	0.003	0.002	0.014	-0.002	-0.003	0.169	8.46
P7-2	0.003	0.018	0.005	0.004	0.015	0.002	0.001	0.175	8.73
P7-3	0.001	0.014	0.004	0.003	0.013	0.003	0.002	0.149	7.46
P8-1	0.002	0.017	0.006	0.004	0.015	0.004	0.002	0.171	8.57
P8-2	0.005	0.019	0.004	0.004	0.014	-0.001	-0.001	0.168	8.38
P8-3	0.004	0.017	0.006	0.005	0.013	0.002	0.001	0.151	7.54

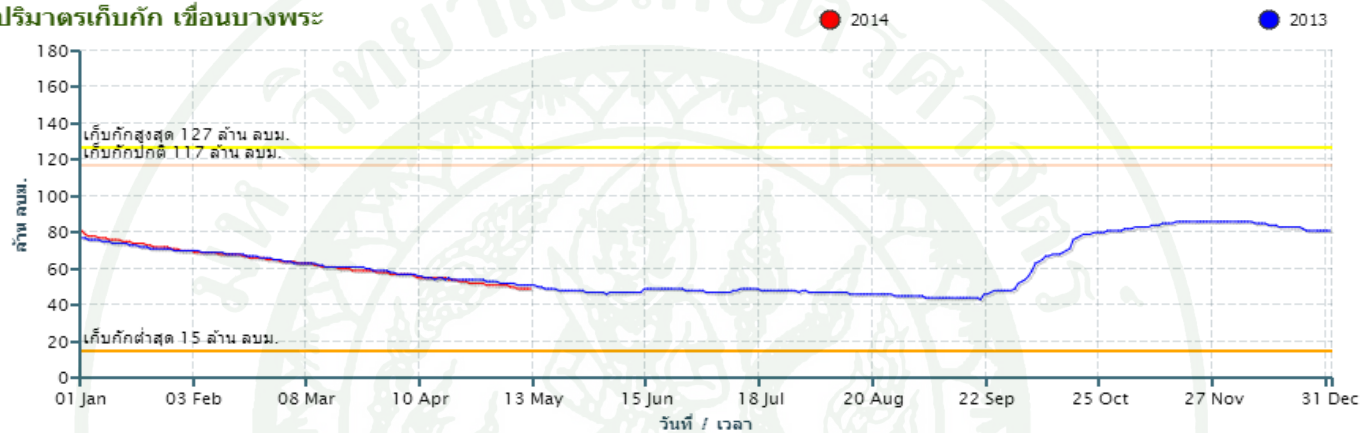
* การคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ค

ตารางผนวกที่ ก25 ข้อมูลแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยรายเดือน

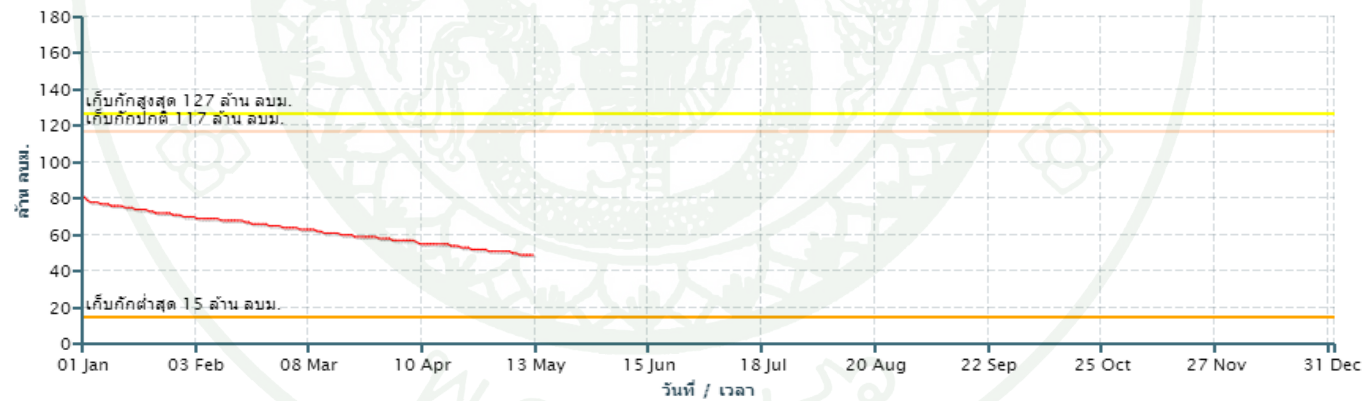
เดือน/ปี	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m ² -day)
เมษายน พ.ศ. 2556	18.49
พฤษภาคม พ.ศ. 2556	20.87
มิถุนายน พ.ศ. 2556	18.13
กรกฎาคม พ.ศ. 2556	16.05
สิงหาคม พ.ศ. 2556	19.00
กันยายน พ.ศ. 2556	16.16
ตุลาคม พ.ศ. 2556	16.04
พฤศจิกายน พ.ศ. 2556	14.07
ธันวาคม พ.ศ. 2556	15.99
มกราคม พ.ศ. 2557	15.86
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557	15.80
มีนาคม พ.ศ. 2557	19.93

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2557)

ปริมาณเก็บกัก เขื่อนบางพระ

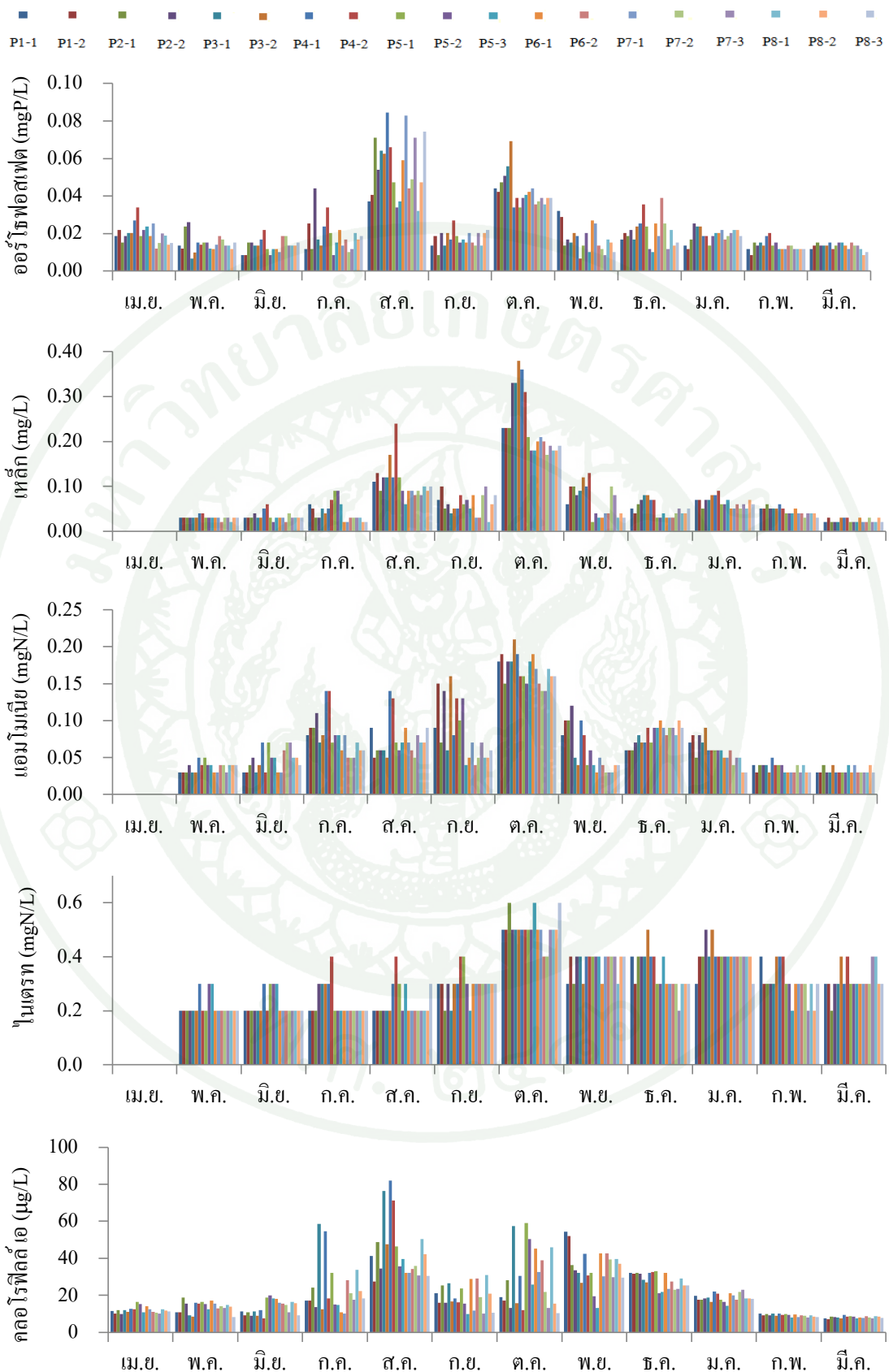


ปริมาณเก็บกัก เขื่อนบางพระ



ภาพผนวกที่ ก1 ข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ เดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2557

ที่มา: ศูนย์ปฏิบัติการจัดสรรน้ำ สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2557)



ภาพผนวกที่ ก2 แนวโน้มปริมาณสารอาหารเปรียบเทียบกับคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละเดือน



ภาคผนวก ข
การเตรียมอุปกรณ์และขั้นตอนวิเคราะห์

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยวิธี Spectrophotometry

1. กรองน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ผ่านแผ่นกรอง glass fiber ขณะกรองตัวอย่างหยด Saturated magnesium carbonate solution 2 ถึง 3 หยด
2. วางแผ่นกรองในเครื่องบดเนื้อเยื่อ เติม Aqueous acetone solution 2 ถึง 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วบดแผ่นกรองจนละเอียด
3. นำตัวอย่างใส่หลอดฝาเกลียว ล้างที่บดด้วย Aqueous acetone solution 2 ถึง 3 มิลลิลิตร เพื่อล้างตัวอย่างออกให้หมด
4. ปรับปริมาตรตัวอย่างให้ได้ 10 มิลลิลิตร ด้วย Aqueous acetone solution เก็บตัวอย่าง 2 ชั่วโมง ในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
5. นำตัวอย่างมา centrifuge นาน 20 นาที ที่ความเร็ว 500 g รินสารละลายส่วนใสใส่หลอดความจุ 15 มิลลิลิตร จดปริมาตรตัวอย่าง
6. เติมตัวอย่างที่สกัดได้ลงหลอด 1-cm cuvette และอ่านค่า Optical density(OD) ที่ 750, 664, 647 และ 630 นาโนเมตร ใช้ Aqueous acetone solution เป็น turbidity blank
7. ปรับแก้และคำนวณค่า chlorophyll a ตามสูตร

การปรับแก้ค่าและการคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์

การปรับค่า

$$OD_{664} = OD_{664} \text{ ที่วัดได้} - OD_{750} \text{ ที่วัดได้}$$

$$OD_{647} = OD_{647} \text{ ที่วัดได้} - OD_{750} \text{ ที่วัดได้}$$

$$OD_{630} = OD_{630} \text{ ที่วัดได้} - OD_{750} \text{ ที่วัดได้}$$

คำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์

$$C_a = 11.85(OD_{664}) - 1.54(OD_{647}) - 0.08(OD_{630})$$

$$C_b = 21.03(OD_{667}) - 5.43(OD_{664}) - 2.66(OD_{630})$$

$$C_c = 24.52(OD_{630}) - 7.60(OD_{647}) - 1.67(OD_{664})$$

เมื่อ C_a , C_b , C_c คือความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ บี และ ซี (mg/L)

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/L)} = \frac{C \text{ (mg/L)} \times \text{ปริมาณของตัวอย่างที่สกัดได้ (mL)}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

การสกัด DNA ด้วยชุดสกัด Genomic DNA extraction mini kit (RBC Bioscience)

1. นำตัวอย่างสาหร่ายปริมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่หลอดไมโครเซนติฟิวส์
2. เติม GP1 400 ไมโครลิตร ผสมโดยใช้เครื่องผสม (vortex mixer)
3. เติม RNasa A 5 ไมโครลิตร ผสมโดยใช้เครื่องผสม
4. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (เขย่าทุก 5 นาที เพื่อให้ผสมกัน) ในขณะเดียวกันสามารถอุ่น Elution buffer ให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
5. เติม GP2 100 ไมโครลิตร ผสมโดยใช้เครื่องผสม
6. นำไปบ่มในน้ำแข็งเป็นเวลา 3 นาที
7. วาง filter column ใน collection tube ที่มีปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเทสารในหลอดไมโครเซนติฟิวส์ลงใน filter column และหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที (13000 รอบต่อนาที)
8. ดูดส่วนที่เป็นของเหลวใน collection tube มาใส่หลอดไมโครเซนติฟิวส์หลอดใหม่
9. เติม 1.5 เท่า ของ GP3 ในของเหลว (1.5 เท่า x ปริมาตรของเหลวที่ดูดได้) ผสมโดยใช้เครื่องผสมเป็นเวลา 3 นาที
10. วาง GD column ลงใน collection tube ที่มีปริมาตร 2 มิลลิลิตร
11. ดูดส่วนผสมในหลอดไมโครเซนติฟิวส์ลงใน GD column 700 ไมโครลิตรและหมุนเหวี่ยง 2 นาที (13000 รอบต่อนาที)
12. ทิ้งส่วนใสที่อยู่ใน collection tube และยังเหลือส่วนผสมที่ยังค้างอยู่ใน GD column นำไปหมุนเหวี่ยงซ้ำอีก 1 รอบ และทิ้งส่วนใส
13. เติม W1 400 ไมโครลิตร ลงใน GD column หมุนเหวี่ยง 30 วินาที (13000 รอบต่อนาที)
14. ทิ้งส่วนใสและวาง GD column กลับลงใน collection tube
15. เติม wash buffer 600 ไมโครลิตร ลงใน GD column หมุนเหวี่ยง 30 (13000 รอบต่อนาที)
16. ทิ้งส่วนใสและวาง GD column กลับลงใน collection tube
17. หมุนเหวี่ยง 3 นาที (13000 รอบต่อนาที) เมื่อเนื้อสารแห้งและนำไปใส่ในหลอดไมโครเซนติฟิวส์หลอดใหม่
18. เติม Elution buffer ที่อุ่นแล้ว 100 ไมโครลิตร แล้ววางทิ้งไว้ 3 ถึง 5 นาที และหมุนเหวี่ยง 30 วินาที (13000 รอบต่อนาที) เพื่อชะ DNA ที่บริสุทธิ์ออกมา

อะกาโรสเจล อิเล็กโทรโฟรีซิส (Agarose gel Electrophoresis)

1. ประกอบถาดหล่อเจลเข้ากับซี่หวี (comb) เพื่อให้เจลที่แข็งตัวมีช่อง (wells) ซึ่งใช้สำหรับหยอดตัวอย่างดีเอ็นเอ
2. ชั่ง agarose 0.25 กรัม ใส่ลงในขวดชมพู แล้วเติม 1X TAE buffer ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จะได้ agarose ความเข้มข้น 1%
3. ละลาย agarose โดยนำเข้า microwave นานประมาณ 2 นาทีเมื่อเดือดให้นำออกมาเขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปเข้า microwave อีกครั้ง จนกระทั่ง agarose ละลายจนเป็นสารละลายใส
4. ปล่อยสารละลายเจลทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุ่น นำไปเทลงบนถาดหล่อเจลโดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น ทิ้งไว้จนกระทั่งเจลแข็งตัวและเย็น
5. คึงซี่หวีออกจากเจล ค่อย ๆ คึงแผ่นเจลขึ้น นำไปวางใน electrophoresis chamber โดยหันด้านช่องหยอดตัวอย่างไปทางขั้วลบ
6. เติม 1X TAE buffer ลงใน electrophoresis chamber จนท่วมผิวหน้าเจลขึ้นมาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ผสม 2X loading dye 1 ไมโครลิตร กับตัวอย่างดีเอ็นเอ 1 ไมโครลิตร บนแผ่นพาราฟิน ผสมให้เข้ากันโดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างขึ้นลง 3 ถึง 4 ครั้ง แล้วนำไปหยอดลงในช่องหยอดตัวอย่าง
8. ปิดฝา electrophoresis chamber ต่อขั้วไฟฟ้า แล้วเปิดสวิตช์ปล่อยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 100V โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วลบไปหาขั้วบวกตามความยาวของแผ่นเจล
9. สังเกตสีของ loading dye เมื่อสีเคลื่อนที่ไปจนถึงด้านปลายของแผ่นเจลให้หยุดปล่อยกระแสไฟฟ้า หรือประมาณ 45 นาที
10. นำแผ่นเจลออกไปย้อมด้วยเอธิเดียมโบรไมด์นาน 5 ถึง 10 นาทีแล้วล้างด้วยน้ำเปล่านาน 15 นาที (ระวังไม่ให้เอธิเดียมโบรไมด์โดนร่างกาย)
11. นำแผ่นเจลมาส่องดูแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต และถ่ายรูปแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้น

การเตรียมกระจกสำหรับเทเจล

1. นำแผ่นกระจกสำหรับเตรียมเจลมาล้างให้สะอาด แล้วเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ 95% โดยใช้กระดาษ kimwipe เช็ดให้สะอาดทั้ง 2 แผ่น
2. เช็ดกระจกทั้ง 2 แผ่นด้วย clear view เพื่อป้องกันเจลติดกระจก
3. จากนั้นเช็ดกระจกทั้ง 2 แผ่นด้วยแอลกอฮอล์ อีก 1 ครั้ง
4. นำกระจกทั้ง 2 แผ่นมาประกบเข้าชุด โดยวาง spacer ไว้ทั้งสองข้าง เพื่อให้เกิดช่องว่างระหว่างกระจกทั้งสอง แล้วประกบเข้ากับตัวเครื่อง electrophoresis จากนั้นเทเจลที่เตรียมไว้ลงไป

การเตรียม Polyacrylamide gel สำหรับแยกแถบของแถบดีเอ็นเอ

การเตรียม Polyacrylamide gel ที่ความเข้มข้น 6% (acrylamide/Bis = 37.5:1) โดย denaturing gradient ที่ใช้คือ 30 ถึง 60%

1. เตรียม Low denaturing (LD) 30 % และ High denaturing (HD) 60% ปริมาตรอย่างละ 20 มิลลิลิตร
2. ใส่น้ำ 10% ของ Ammonium persulfate (APS) (ซึ่งสาร 0.05 กรัม แล้วผสมน้ำปริมาตร 500 ไมโครลิตร) อย่างละ 200 ไมโครลิตร
3. ใส่น้ำ DCode™ kit dye solution ปริมาตร 400 ไมโครลิตรใน HD
4. ใส่น้ำ TEMED เพื่อให้เจลแข็งตัว ทั้ง LD และ HD ปริมาตร 20 ไมโครลิตร
5. ผสมสาร LD และ HD ประกอบเข้ากับเครื่องเซตเจลอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้เจลแข็งตัวก่อนฉีดเข้าช่องระหว่างกระจกที่ทำการประกอบไว้ ระมัดระวังอย่าให้มีฟองอากาศภายในเจล ระหว่างรอเจลแข็งตัวให้ทำการอุ่น 1X TAE buffer ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrophoresis
6. ทิ้งเจลให้แข็งตัวประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วประกอบเข้ากับเครื่อง electrophoresis ดึงซีวี้ออกจากเจล ค่อย ๆ ล้างหลุมเจลด้วย 1X TAE buffer ปรับระดับน้ำในเครื่องด้วย 1X TAE buffer ให้ถึงคำว่า RUN
7. ผสม 2X loading dye 15 ไมโครลิตร กับตัวอย่างดีเอ็นเอ 15 ไมโครลิตร บนแผ่นพาราฟิน ผสมให้เข้ากันโดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างขึ้นลง 3 ถึง 4 ครั้ง แล้วนำไปหยอดลงในช่องหยอดตัวอย่าง

8. ปิดฝา electrophoresis chamber ต่อขั้วไฟฟ้า แล้วเปิดสวิตช์ปล่อยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์ 75 V โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วลบไปหาขั้วบวกตามความยาวของแผ่นเจล เป็นเวลา 960 นาที
9. แกะแผ่นเจลออกจากกระบอก แล้วแช่ในเอธิเดียมโบรไมด์ เพื่อตรึงแถบดีเอ็นเอบนเจลเป็นเวลา 20 นาที
10. แล้วล้างด้วยน้ำเปล่านาน 15 นาที 2 ถึง 3 ครั้ง
11. นำแผ่นเจลมาส่องดูแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต และถ่ายรูปแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้น
12. ทำการตัดเจลส่วนที่ขึ้นแถบชัดเจนเพื่อตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสต่อไป

การเตรียมส่วนผสม denaturing gradient

ตารางผนวกที่ ข1 เปรี่เซ็นต์ความเข้มข้นของ Polyacrylamide gel

Gel Percentage	Base Pair Separation
6%	300–1000 bp
8%	200-400 bp
10%	100-300 bp

ที่มา: Bio rad (2012)

ตารางผนวกที่ ข2 ส่วนผสมในการเตรียม 0% denaturant

Solution	6% gel	8% gel	10% gel
40% acrylamide/Bis	15 ml	20 ml	25 ml
50X TAE buffer	2 ml	2 ml	2 ml
dH ₂ O	83 ml	78 ml	73 ml
Total volume	100 ml	100 ml	100 ml

ที่มา: Bio rad (2012)

ตารางผนวกที่ ข3 ส่วนผสมในการเตรียม 100% denaturant

Solution	6% gel	8% gel	10% gel
40% acrylamide/Bis	15 ml	20 ml	25 ml
50X TAE buffer	2 ml	2 ml	2 ml
fomamide	40 ml	40 ml	40 ml
urea	42 g	42 g	42 g
dH ₂ O	to 100 ml	to 100 ml	to 100 ml

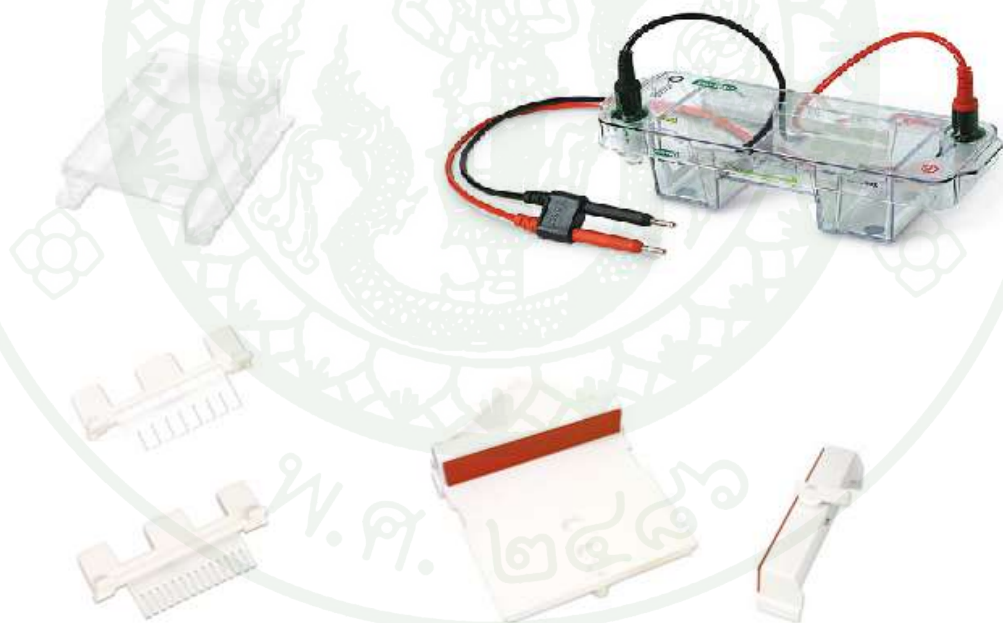
ที่มา: Bio rad (2012)

ตารางผนวกที่ ข4 ส่วนผสมในการเตรียม denaturing gradient ของ 6% Polyacrylamide gel

Solution	Low denaturing (LD) 30%	High denaturing (HD) 60%
100% denaturant	6 ml	12 ml
0% denaturant	14 ml	8 ml
Total volume	20 ml	20 ml



ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA รุ่น Light Cycler Nano ยี่ห้อ Roche



ภาพผนวกที่ ข2 ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น Mini-Sub cell GT ยี่ห้อ Bio rad



ภาพผนวกที่ ข3 เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) รุ่น PowerPac™ Basic ยี่ห้อ Bio rad



ภาพผนวกที่ ข4 เครื่องให้กำเนิดแสง UV (UV transilluminator) รุ่น ECX-20 ยี่ห้อ Vilber lourmat



ภาพผนวกที่ ข5 ชุดประกอบ Gel electrophoresis รุ่น DCode™ system ยี่ห้อ Bio rad



ภาคผนวก ค
ข้อมูลการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

จุดเก็บน้ำที่ P1-1 ในเดือน เมษายน 2556 ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้เท่ากับ 200 มิลลิลิตร
วัดค่า OD ได้ดังนี้

$$\text{OD750} = 0.001$$

$$\text{OD664} = 0.021$$

$$\text{OD647} = 0.006$$

$$\text{OD630} = 0.004$$

ทำการปรับแก้ค่าความขุ่น

$$\begin{aligned} \text{OD664} &= \text{OD664 ที่วัดได้} - \text{OD750 ที่วัดได้} \\ &= 0.021 - 0.001 = 0.020 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OD647} &= \text{OD647 ที่วัดได้} - \text{OD750 ที่วัดได้} \\ &= 0.006 - 0.001 = 0.005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OD630} &= \text{OD630 ที่วัดได้} - \text{OD750 ที่วัดได้} \\ &= 0.004 - 0.001 = 0.003 \end{aligned}$$

คำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ

$$\begin{aligned} C_a &= 11.85(\text{OD664}) - 1.54(\text{OD647}) - 0.08(\text{OD630}) \\ &= 11.85(0.020) - 1.54(0.005) - 0.08(0.003) \\ &= 0.229 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/L)} &= \frac{c_a \text{ (mg/L)} \times \text{ปริมาณของตัวอย่างที่สกัดได้ (mL)}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)}} \\
 &= \frac{0.229 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (mL)}}{200 \text{ (mL)}} \\
 &= 0.01145 \text{ mg/L} \\
 &= 11.45 \text{ } \mu\text{g/L}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จุดเก็บน้ำที่ P1-1 ในเดือน พ.ค. 2556

$$\begin{aligned}
 \text{มีปริมาณไนโตรเจน} &= \text{แอมโมเนีย + ไนเตรท} \\
 &= 0.03 + 0.2 = 0.23 \text{ mg/L} \\
 \text{มีปริมาณฟอสฟอรัส} &= \text{ออร์โธฟอสเฟต} = 0.014 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัส} &= \text{ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัส} \\
 &= 0.23/0.014 \\
 &= 16.4
 \end{aligned}$$

การคำนวณสเกลรูปจากการส่องกล้องจุลทรรศน์

อุปกรณ์ประกอบการวัดขนาดซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด

1. Ocular micrometer เป็นสเกลที่อยู่บน eye piece จะมีขีดแบ่ง (scale) จำนวน 100 ช่อง เล็ก ๆ ที่มีขนาดเท่ากัน ดังภาพผนวกที่ ค1 (a)

2. Stage micrometer จะมีขีดแบ่ง (scale) ที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 100 ช่อง (1 มิลลิเมตร) ดังนั้น 1 ช่องเล็กมีขนาดความกว้างเท่ากับ 10 ไมโครเมตร (micron) ดังภาพผนวกที่ ค1 (b)

การตั้งค่าวัดขนาด (calibration)

เริ่มจากการเทียบขนาดของ ocular micrometer กับขนาดของ stage micrometer ซึ่งเรารู้ความกว้างของ scale ที่แท้จริง ขณะที่มองผ่าน eye pieces เราจะเห็น scale ของ ocular micrometer ให้จัดแนวของเส้นแรก (0) ของทั้ง ocular และ stage micrometer ซ้อนกันให้สนิท จากนั้นให้หาเส้นที่มีการซ้อนกันสนิทที่อยู่ในลำดับต่อไป ตัวอย่างในภาพผนวกที่ ๑2 (a) เมื่อใช้ objective lens กำลังขยาย 40x ซีดที่ 5 ของ stage micrometer วางซ้อนทับกับเส้นที่ 20 ของ ocular micrometer ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ซีดที่ 5 ของ stage micrometer มีค่า $5 \times 10 = 50$ ไมโครเมตร

ความกว้างของ ocular micrometer จาก 0 ถึง 20 จึงมีค่า = 50 ไมโครเมตร

ดังนั้นความกว้างของ ocular micrometer 1 ช่องเล็กมีค่า = $50/20 = 2.5$ ไมโครเมตร

ตัวเลข 2.5 ไมโครเมตร เป็นค่า calibration factor ที่จะใช้เป็นตัวคูณหลังจากที่วัดขนาดสำหรับด้วยการนับจำนวนช่องของ ocular micrometer ที่กำลังขยาย 40x เช่น สำหรับที่ส่องดูมีความยาวเท่ากับ 15 ซีดของ ocular micrometer ดังนั้นสำหรับนั้นมีขนาดเท่ากับ $15 \times 2.5 = 37.5$ ไมโครเมตร

ตัวอย่างในภาพผนวกที่ ๑2 (b) เมื่อใช้ objective lens กำลังขยาย 100x ซีดที่ 1 ของ stage micrometer วางซ้อนทับกับเส้นที่ 10 ของ ocular micrometer ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ซีดที่ 1 ของ stage micrometer มีค่า $1 \times 10 = 10$ ไมโครเมตร

ความกว้างของ ocular micrometer จาก 0 ถึง 10 จึงมีค่า = 10 ไมโครเมตร

ดังนั้นความกว้างของ ocular micrometer 1 ช่องเล็กมีค่า = $10/10 = 1$ ไมโครเมตร

ตัวเลข 1 ไมโครเมตร เป็นค่า calibration factor ที่จะใช้เป็นตัวคูณหลังจากที่วัดขนาดสำหรับด้วยการนับจำนวนช่องของ ocular micrometer ที่กำลังขยาย 100x ขนาดของ scale ของ ocular micrometer ที่ objective lens (4X, 10x, 40X และ 100X) ต่างกันจะมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องทำการ calibration ทุก objective lens



(a) Ocular micrometer

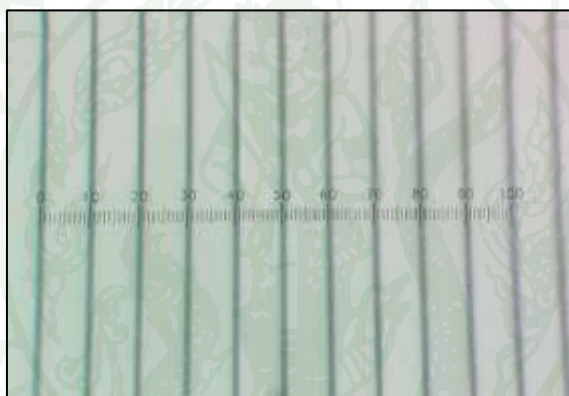


(b) Stage micrometer

ภาพผนวกที่ ๑ อุปกรณ์ประกอบการวัดขนาด



(a) การเทียบขนาดของ Ocular micrometer และ Stage micrometer กำลังขยาย 40x



(b) การเทียบขนาดของ Ocular micrometer และ Stage micrometer กำลังขยาย 100x

ภาพผนวกที่ ค2 การเทียบขนาดของ Ocular micrometer กับขนาดของ Stage micrometer ที่กำลังขยาย 40x และ 100x

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุจิตรา สุวรรณ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	13 มกราคม 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. สิ่งแวดล้อม ม.เกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานทางวิชาการ	

Sujitra Suwan and Patcharaporn Suwanvitaya. 2014. **Seasonal Distribution of Algae in Bang Phra Reservoir**. 3rd International Conference on Environmental Engineering, Science and Management. Bangkok.

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

ทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2555

ทุนโครงการวิจัย เรื่อง การอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพแวดล้อมทางน้ำ ในเขตเมืองของภูมิภาคเอเชีย จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2556