ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กผลิตน้ำมันในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

วิทยานิพนธ์

ของ

วิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง

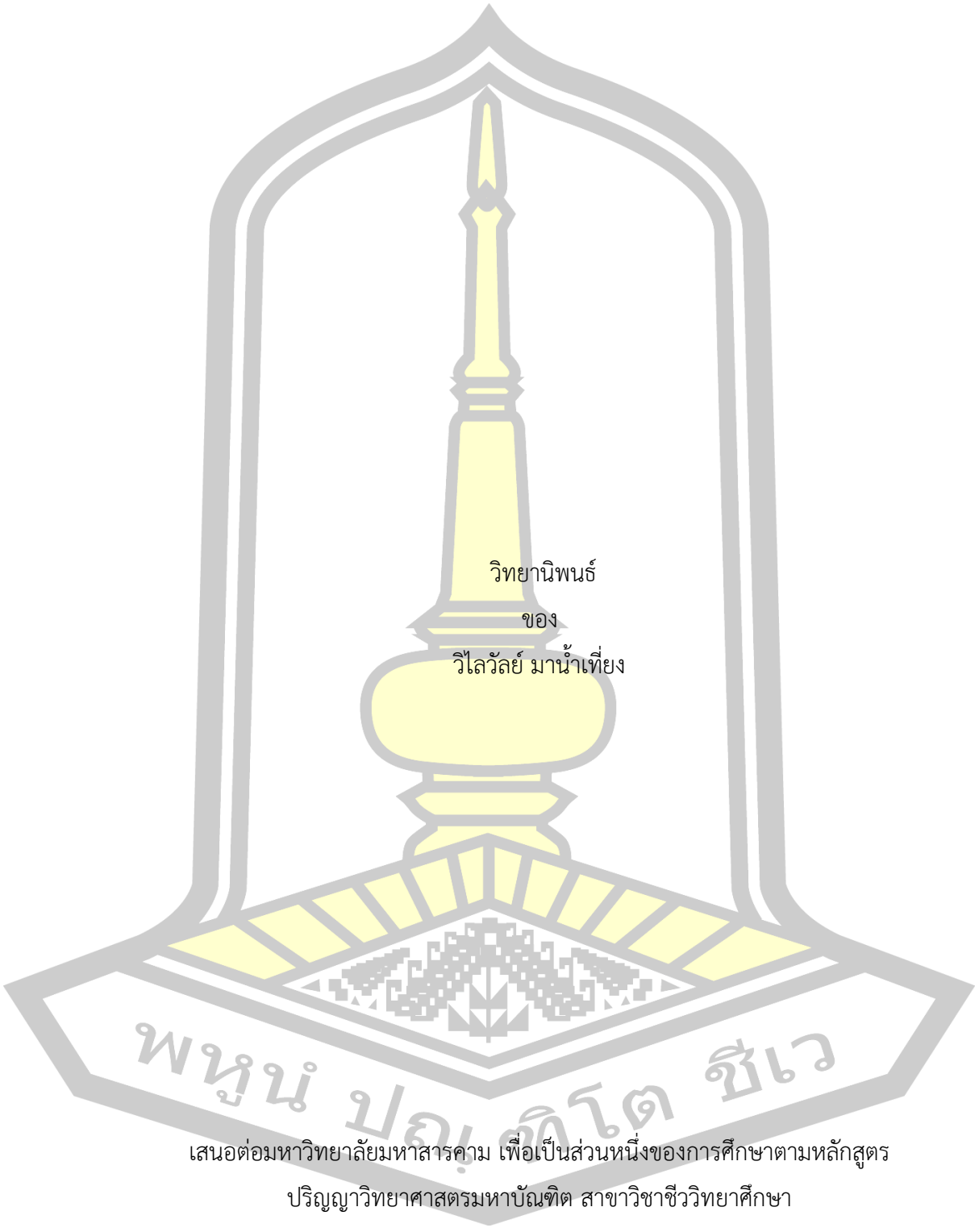
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กผลิตน้ำมันในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์



วิทยานิพนธ์

ของ

วิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Diversity of Bio-oil Freshwater Microalgae in Satuek District, Buri Ram Province

Wilaiwan Manamthiang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Biology Education)

October 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาววิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. กีรวิชญ์ เพชรจุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. บังอร แถวโนนงิ้ว)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ธีรพร กทิศาสตร์)

.....กรรมการ
(อ. ดร. เอกพจน์ ศรีฟ้า)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีวเ

ชื่อเรื่อง ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กผลิตน้ำมันในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์
ผู้วิจัย วิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บังอร แถวโนนงิ้ว
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** ชีววิทยาศึกษา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก ตรวจสอบการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย และตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการของแหล่งน้ำในเขตพื้นที่อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายโดยใช้ถุงลากแพลงก์ตอนตาข่ายขนาดความถี่ 10 ไมโครเมตรและเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติกเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าของแข็งละลายน้ำ ส่วนค่าความโปร่งใสของน้ำ และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพของแหล่งน้ำตรวจสอบในพื้นที่ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 12 จุด พบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กจำแนกได้ทั้งหมด 5 ดิวิชัน (division) 22 วงศ์ (family) 47 สกุล (genus) 74 ชนิด (species) จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างสาหร่ายบางชนิดมาตรวจสอบน้ำมันโดยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (Nile Red Staining) พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Cyanophyta ทั้งหมด 12 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 5 ชนิด ได้แก่ *Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek, *Cylindrospermopsis raciborskii, Microcystis aeruginosa* Kützing, *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ดิวิชัน Bacillariophyta ทั้งหมด 11 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 1 ชนิด ได้แก่ *Navicula* sp. ดิวิชัน Chlorophyta ทั้งหมด 37 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 11 ชนิด ได้แก่ *Botryococcus* sp.1, *Botryococcus braunii* Kützing, *Chlorella* sp., *Cladophora* sp., *Kirchneriella lunaris*, *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius, *Micrasterias foliacea* Bailey, *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West, *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Spirogyra* sp. ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Euglenophyta จำนวน 13 ชนิด และ ดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 1 ชนิด ไม่พบการผลิตน้ำมัน จากการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่เป็นชนิดเด่นคือ *Botryococcus braunii* Kützing เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันในเซลล์มากที่สุดจากผลการย้อมสีไนล์เรดและตรวจสอบการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์จะปรากฏจุดหรือคราบสีเหลืองเกือบเต็มเซลล์ ซึ่งพบสาหร่ายดังกล่าวนี้ใน 4 จุด ได้แก่จุดที่ 3, 7, 8 และ 12 ส่วนผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำพบว่า อุณหภูมิน้ำมีค่าตั้งแต่ 24.0-27.0 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-

เบสอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ค่าของแข็งละลายน้ำอยู่ระหว่าง 51.0-787.0 ส่วนในล้านส่วน ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 103.0-1577.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ระหว่าง 18.0-78.0 เซนติเมตร ซึ่งพืชน้ำที่พบได้แก่ ผักบุ้ง ผักตบชวา ผักกระเฉด และบัว ซึ่งจากข้อมูลคุณภาพน้ำนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

คำสำคัญ : สาหร่ายขนาดเล็ก, น้ำมัน, ความหลากหลาย, น้ำจืด, การย้อมสีไนล์เรด, ฟลูออเรสเซนต์

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE Diversity of Bio-oil Freshwater Microalgae in Satuek District, Buri Ram Province

AUTHOR Wilaiwan Manamthiang

ADVISORS Assistant Professor Bung-on Thaewnongiw , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Biology Education

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

The aims of this research were to determine diversity of microalgae, bio-oil production, some chemical and physical water quality and biological aspects from twelve station of water sources at Satuek district, Buri Ram province. The collection of microalgae used a 10 micrometer plankton net and then collected microalgae to identify species under microscope. Bio-oil detection from some microalgae used Nile Red Staining technique. The water sampling collected by plastic bottle and then brought to measure value of temperature, pH and total dissloved solid, whereas water transparency value was checked in the field.The results found that diversity of microalgae could be classified into 5 divisions, 22 family, 47 genus, 74 species. Five species of a total twelve of Cyanobacteria were able to produce oil, including *Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek, *Cylindrospermopsis raciborskii, Microcystis aeruginosa* Kützing, *Oscillatoria* sp. and *Spirulina* sp. One species of a total eleven of Bacillariophyta could produce oil, including *Navicula* sp. Eleven species of a total thirty-seven of Chlorophyta could produce oil, including *Botryococcus* sp.1, *Botryococcus braunii* Kützing, *Chlorella* sp., *Cladophora* sp., *Kirchneriella lunaris*, *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius, *Micrasterias foliacea* Bailey, *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West, *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat and *Spirogyra* sp. However, thirteen and one species of Euglenophyta and Chrysophyta, respectively were found but they could not produce bio-oil. According to this study showed *Botryococcus braunii* Kützing is predominantly species because the result of Nile Red Staining and

fluorescence detection found that the cells are the most yellow. It could find from 4 station as 3, 7, 8 and 12. In addition, the range observed values of water quality parameters showed water temperature of 24-27 °C, pH 6-7, total dissolved solids of 51-787 ppm, water conductivity of 103-1577 µS/cm and water transparency of 18-78 cm. Aquatic plants were found including morning glory, water hyacinth, mimosa and lotus. From the water quality data, it is suitable for aquatic life.

Keyword : microalgae, bio-oil, diversity, freshwater, Nile Red Staining, fluorescence

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บังอร แถวโนนงิ้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างยิ่งที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา คำแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนการช่วยเหลือและสนับสนุนในการนำเสนอผลงานทางวิชาการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กีรวิชญ์ เพชรจุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพร กทิศาสตร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร. เอกพจน์ ศรีฟ้า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือและแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคุณวัชรี กัลยาลัง และเจ้าหน้าที่ทุกท่านจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและยืนยันการจัดจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยาที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาชีววิทยาที่อบรมให้ความรู้และแนวคิดต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์จนบรรลุผลสำเร็จ

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อกุล มาน้ำเที่ยง คุณแม่ทองใส มาน้ำเที่ยง และครอบครัวที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพประกอบ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ความสำคัญของการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 4

2.1 ลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย 4

2.2 แหล่งที่อยู่ 6

2.3 กลุ่มของสาหร่ายและการจัดจำแนก 8

2.4 ความสำคัญของสาหร่าย 16

2.5 น้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgal oil) 19

2.6 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก 22
2.7 คุณภาพน้ำ 24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
บทที่ 3 30
วิธีดำเนินการวิจัย 30
3.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก 30
3.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก 33
บทที่ 4 35
ผลการวิจัย 35
4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก 35
4.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก 63
บทที่ 5 67
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 67
5.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก 67
5.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก 68
5.3 สรุปผล 71
5.4 ข้อเสนอแนะ 72
บรรณานุกรม 73
ประวัติผู้เขียน 79

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่าง ๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%) 20
ตาราง 2 ปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด 21
ตาราง 3 ชนิดของกรดไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กบางสายพันธุ์เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี . 22
ตาราง 4 เปรียบเทียบแหล่งที่มาของไบโอดีเซลในสหรัฐอเมริกา 23
ตาราง 5 เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลโดยประมาณของพืชต่าง ๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก 24
ตาราง 6 สีและสาเหตุของการเกิดสีของน้ำ 25
ตาราง 7 กลิ่นของน้ำและสาเหตุมลพิษของน้ำ 25
ตาราง 8 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของน้ำบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง 36
ตาราง 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ 37
ตาราง 10 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ 40
ตาราง 11 สาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ 63

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 23

ภาพประกอบ 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ 30

ภาพประกอบ 3 พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 12 จุด 31

ภาพประกอบ 4 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chroococcaceae..... 43

ภาพประกอบ 5 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Merismopediaceae..... 44

ภาพประกอบ 6 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Nostocaceae..... 45

ภาพประกอบ 7 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriaceae 46

ภาพประกอบ 8 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriales..... 46

ภาพประกอบ 9 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Rivulariaceae 47

ภาพประกอบ 10 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Bacillariaceae 47

ภาพประกอบ 11 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Brachysiraceae 48

ภาพประกอบ 12 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Fragilariaceae 48

ภาพประกอบ 13 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Melosiraceae..... 49

ภาพประกอบ 14 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Naviculaceae..... 50

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae..... 51

ภาพประกอบ 16 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Botryococcaceae..... 53

ภาพประกอบ 17 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlorellaceae..... 54

ภาพประกอบ 18 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Cladophoraceae..... 55

ภาพประกอบ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae..... 56

ภาพประกอบ 20 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Hydrodictyceae 59

ภาพประกอบ 21 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Scenedesmaceae..... 60

ภาพประกอบ 22 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Selenastraceae 60
ภาพประกอบ 23 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Volvocaceae..... 61
ภาพประกอบ 24 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Zygnemataceae..... 62
ภาพประกอบ 25 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Centritractaceae..... 62
ภาพประกอบ 26 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กโดยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด..... 66

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติทั้งบนบก ในน้ำ หรือแม้กระทั่งในอากาศ แต่แหล่งที่สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดคือในน้ำซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพที่เหมาะสม (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546) สำหรับบทบาทสำคัญของสาหร่ายในระบบนิเวศคือเป็นผู้ผลิต เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์และรงควัตถุที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงเป็นจุดเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหารและสายใยอาหารนอกจากนี้สาหร่ายยังสามารถสร้างสารบางชนิดทั้งที่มีประโยชน์และโทษต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มนุษย์จึงนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร อาหารเสริม เครื่องสำอางและยา ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพในพื้นที่เกษตรกรรม ใช้ในการติดตามและตรวจสอบคุณภาพน้ำ และใช้ในการบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำต่าง ๆ รวมทั้งใช้เป็นแหล่งในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ เป็นต้น

ในสถานการณ์โลกปัจจุบันปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานจากน้ำมัน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดสิ้น ส่งผลให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ รวมทั้งประเทศไทยที่ต้องพึ่งพาพลังงานนำเข้าอย่างมากในแต่ละปี นอกจากปัญหาการปรับตัวสูงขึ้นของราคาน้ำมันที่ผ่านมา ผลกระทบอีกด้านที่สำคัญคือ ภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานประเภทฟอสซิล ทำให้ประเทศต่าง ๆ เร่งทำการประหยัดพลังงานทุกภาคส่วน และใช้พลังงานทางเลือกทดแทน ซึ่งการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทยที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะและเชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอลและไบโอดีเซล) จากพลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจมากที่สุดในขณะนี้คือ ไบโอดีเซล (biodiesel) มีวิธีการผลิตโดยนำชีวมวล นั่นคือการนำน้ำมันจากสัตว์หรือจากพืช ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมี แต่จากการนำน้ำมันจากสัตว์หรือจากพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว ปาล์ม สบู่ดำ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาจส่งผลกระทบต่อด้านราคาต้นทุนการผลิตและความมั่นคงทางด้านอาหารเนื่องจากพืชดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาและพื้นที่เพาะปลูกจำนวนมาก ผลผลิตที่ได้ต่อพื้นที่น้อย ดังนั้นจึงมีการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบอื่นในการผลิตพลังงานทดแทน พบว่าวัตถุดิบดังกล่าวคือชีวมวลจากสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนกับพืชทั่วไป โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น

แหล่งคาร์บอนและแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานและเก็บสะสมผลผลิตไว้ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Held and Raymond, 2011) แต่คุณสมบัติเด่นที่แตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ คือสาหร่ายขนาดเล็กใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อย เจริญเติบโตเร็วให้ผลผลิตต่อพื้นที่มาก ใช้เวลาประมาณ 7-14 วันก็สามารถนำมาสกัดน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลได้ (ศิวคุปต์ ธัญญเจริญ และคณะ, 2556) ในการตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่สะดวกและรวดเร็วโดยใช้สีย้อมไนล์เรดจะแสดงความมีขั้วและไม่มีขั้วของไขมันซึ่งจะปล่อยคลื่นจากสีแดงเป็นสีเหลือง (Diaz *et al*., 2008) ดังนั้นฟอสโฟลิปิดส่วนใหญ่ที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ทั่วไปจะปล่อยแสงสีแดง ในขณะที่ไขมันประกอบด้วยนิวทรัลลิปิดคล้ายกับ esterified คลอเรสเทอรอลและไตรกลีเซอไรด์จะเรืองแสงสีเหลืองซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เป็นข้อดีของสีย้อมไนล์เรด นอกจากนี้กระบวนการประเมินผลแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายสดสำหรับใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Xu *et al.*, 2011)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการสำรวจความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมัน ด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (Nile Red Staining) โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งในแหล่งน้ำเป็นบริเวณที่พบสาหร่ายมากที่สุดและยังไม่มีรายงานการสำรวจในพื้นที่ดังกล่าว ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาด้านความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบถึงความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อเป็นข้อมูลด้านความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กสำหรับการศึกษาแหล่งพลังงานทางเลือกต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการเก็บตัวอย่างและศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

2. ทำการศึกษาน้ำมันในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรดและตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

1) ศึกษาเอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ออกแบบร่างกรอบแนวคิด รูปแบบและเครื่องมือเก็บข้อมูล

3) ขออนุมัติดำเนินการ

1.5.2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างประชากร

2) ดำเนินการทดลองและบันทึกข้อมูล

1.5.3 ขั้นตอนการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

1) ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล

2) สรุปผล

1.5.4 ขั้นตอนการนำเสนอข้อมูล และจัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถผลิตน้ำมันจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

2. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยทางด้านสาหร่ายวิทยาสำหรับการศึกษาแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

สาหร่าย (algae) เป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ จัดเป็นพืชชั้นต่ำ ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้น และใบที่แท้จริง สาหร่ายดำรงชีวิตอยู่ได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแพลงก์ตอนล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ หรือยึดติดกับพื้นทะเลหรือวัสดุอื่น ๆ เช่น กลุ่มของสาหร่ายหลายเซลล์ที่เรียกรวมว่า สาหร่ายทะเล (seaweeds) นอกจากนี้ยังอาจดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในลักษณะความสัมพันธ์แบบพึ่งพา เช่น ไลเคน ซึ่งเป็นสาหร่ายที่ดำรงชีวิตร่วมกับรา เป็นต้น (สรวิศ เผ่าทองสุข, 2543) สาหร่ายมีประโยชน์มากมาย โดยชาวจีนเป็นชนชาติแรกที่รู้จักนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในการนำมาประกอบเป็นอาหารและยังมีประเทศอื่น ๆ ที่นิยมนำสาหร่ายมาใช้เป็นอาหารกันมาก เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ฟิลิปปินส์ ฯลฯ นอกจากนี้สาหร่ายยังมีประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ยา อาหารสัตว์ ปุ๋ย และอุตสาหกรรม ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าสาหร่ายและผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนไทยมากขึ้น โดยเฉพาะด้านอาหารไม่ว่าจะเป็นอาหารจีน อาหารญี่ปุ่น วุ้น คาร์ราจีแนน หรือแม้กระทั่งการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ให้ความสำคัญกับสาหร่ายไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยด้านความหลากหลายและนิเวศวิทยา หรือด้านอาหาร ซึ่งนำสาหร่ายมาพัฒนาไปสู่การผลิตในอุตสาหกรรม

2.1 ลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้เองจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับพืช มีขนาดเล็กตั้งแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนกระทั่งมีขนาดใหญ่มีความยาวหลายร้อยเมตร สาหร่ายมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะเป็นเซลล์เดี่ยว หลายเซลล์มารวมกลุ่มกัน เป็นเส้นสายทั้งแตกแขนงและไม่แตกแขนง เป็นทัลลัสที่คล้ายมีราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูง แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียงเหมือนพืชชั้นสูง ทุกเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิตเหมือน ๆ กัน (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.1.1 ส่วนประกอบของเซลล์

- เยื่อหุ้มเซลล์หรือสิ่งที่ห่อหุ้มเซลล์ (the cell covering) ของสาหร่ายมีหลายแบบ ได้แก่ เยื่อหุ้มเซลล์ที่ไม่มีสิ่งห่อหุ้ม เยื่อหุ้มเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไป เยื่อหุ้มเซลล์ที่มีสเกลปิดอยู่ภายนอก เยื่อหุ้มเซลล์ที่มีฟรัสตูลหุ้มอยู่ภายนอก และเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีผนังเซลล์หุ้มอยู่ภายนอก

- ไซโตพลาสซึม ประกอบด้วยออร์แกเนลล์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งมีรงควัตถุที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ไพรีนอยด์ (pyrenoid) เป็นออแกเนลล์ที่มักอยู่ควบคู่กับคลอโรพลาสต์ มีลักษณะกลมใสไม่มีสีทำหน้าที่สร้างแป้ง สาหร่ายส่วนใหญ่จะมีไพรีนอยด์ แต่มีบางดิวิชันที่ไม่มีไพรีนอยด์ เช่นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อายสปอตหรือสติกมา (eyespot or stigma) ทำหน้าที่รับแสงและนำไปสู่การเคลื่อนไหวของแฟลกเจลลัมพบในเซลล์ที่เคลื่อนไหวได้ แวคิวโอล (vacuole) สาหร่ายส่วนใหญ่จะมีแวคิวโอล ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ทำหน้าที่ขับน้ำและของเสียออกจากเซลล์คล้ายโปรโตซัว นอกจากนี้ยังมีออร์แกเนลล์อื่น ๆ ที่พบในสาหร่าย เช่น ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) ไรโบโซม (ribosome) กอลไจแอปพาราตัส (golgi apparatus) เอนโดพลาสมิกเรติวิคิวลัม (endoplasmic reticulum) และอื่น ๆ ออร์แกเนลล์เหล่านี้คล้ายในพืชชั้นสูงทั้งรูปร่างลักษณะและหน้าที่ทั่ว ๆ ไป

- นิวเคลียส แบ่งออกเป็น 2 ประเภทอย่างเด่นชัดคือ พวกที่ยังไม่มีนิวเคลียสอย่างแท้จริง (prokaryote) ได้แก่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ส่วนอีกพวกหนึ่งคือ มีนิวเคลียสแยกออกจากไซโทพลาสซึมอย่างแท้จริง (eukaryote) ซึ่งจะพบในสาหร่ายทั่ว ๆ ไป โครงสร้างของนิวเคลียสประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ เยื่อหุ้มนิวเคลียส นิวคลีโอลัส โครโมโซม

- แฟลกเจลลัม เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนไหวของเซลล์ และเป็นลักษณะที่ใช้ในการจำแนกสาหร่ายได้ด้วย ซึ่งพบทั้งในเซลล์ปกติ (vegetative cell) หรือเซลล์สืบพันธุ์ (reproductive cell) สาหร่ายเกือบทุกชนิดจะมีแฟลกเจลลัม ยกเว้นสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

2.1.2 รงควัตถุ

รงควัตถุที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แคโรตินอยด์ (carotenoid) และไฟโคบิลิน (phycobilin) รงควัตถุในสาหร่ายแต่ละชนิดมีผลทำให้สาหร่ายเหล่านั้นมีสีที่แตกต่างกันไป เช่น สาหร่ายสีเขียว สีเขียวแกมน้ำเงิน สีน้ำตาล และสีแดงเป็นต้น

2.1.3 อาหารสะสม

อาหารสะสมของสาหร่ายได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะได้น้ำตาลที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหายใจ ในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) นอกจากนี้ยังสะสมไว้ในรูปต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะสะสมอยู่บริเวณผนังเซลล์ หรือแวคิวโอล อาหารสะสมเหล่านี้ได้แก่ แป้ง น้ำตาล โพลีแซคคาไรด์ ไขมัน

2.1.4 ขนาด

ขนาดของสาหร่ายมีความแตกต่างกันมาก ตั้งแต่เซลล์เดียวที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์จนถึงสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่มีความยาวหลายร้อยฟุต ตัวอย่างเช่น สาหร่ายสีเขียว

Chlorella valgaris ซึ่งมีเซลล์เดียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 3.6-8.1 ไมครอน ส่วนสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นทัลลัสยาวได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล *Macrocystis pyrifera* (giant kelp) มีความยาวถึง 700 ฟุต ซึ่งนับว่าเป็นสาหร่ายที่ยาวที่สุดในโลก

2.1.5 รูปร่าง

สาหร่ายมีรูปร่างลักษณะหลายแบบด้วยกันอาจจะเป็นเซลล์เดียว หลายเซลล์อยู่รวมกันเป็นโคโลนี เป็นเส้นสาย เป็นท่อติดต่อถึงกัน จนกระทั่งมีลักษณะเป็นทัลลัส

2.1.6 การสืบพันธุ์

สาหร่ายมีการสืบพันธุ์หลายแบบ ดังต่อไปนี้

- การขยายพันธุ์ (vegetative reproduction) พบมากโดยเฉพาะในพวกที่เป็นเส้นสาย ได้แก่ การขาดออกเป็นท่อน ๆ (fragmentation) แต่ละท่อนที่หลุดหรือขาดออกมานี้สามารถเจริญเป็นเส้นสายใหม่ได้ และเส้นสายเดิมก็ยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติได้ การสร้างอะคีนีท (akinete) เกิดขึ้นโดยเซลล์ใดเซลล์หนึ่งของเส้นสายมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ผนังเซลล์หนาขึ้น มีการสะสมมากขึ้นทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ สีเข้มกว่าเซลล์ข้างเคียง มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมสูง แม้ว่าเส้นสายอื่นจะตายไป แต่เซลล์ที่เป็นอะคีนีทยังสามารถมีชีวิตอยู่จนงอกออกเป็นเส้นสายใหม่ได้

- การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) เซลล์สาหร่ายมีการปล่อยโปรโตพลาสซึมออกไปแล้ว โปรโตพลาสซึมเหล่านี้สามารถเจริญเป็นสาหร่ายต้นใหม่ได้ มีวิธีการคือ การสร้างสปอร์ (sporulation) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป

- การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า แกมมีท (gamete) โดยจะมีแกมมีทเพศผู้ (male gamete) และแกมมีทเพศเมีย (female gamete) เมื่อแกมมีทเพศผู้และแกมมีทเพศเมียรวมกันแล้วจะได้ไซโกต (zygote) ซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงและสะสมอาหารไว้ในรูปของแป้ง ต่อมาไซโกตจะแบ่งตัวให้สปอร์ เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมสปอร์เหล่านี้จะงอกเป็นเส้นสาย หรือทัลลัสใหม่ต่อไป

2.2 แหล่งที่อยู่

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่พบทุกหนทุกแห่งที่มีความชื้น แต่แหล่งที่อยู่ที่สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดก็คือในน้ำ ซึ่งจะมีคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพเหมาะสมกับสาหร่ายชนิดนั้น ๆ แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายแบ่งออกได้ดังนี้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.2.1 สาหร่ายที่เจริญภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นอากาศ

สาหร่ายพวกนี้มักจะทนทานต่อความแห้ง เมื่อมีความชื้นน้อยก็เจริญน้อยหรืออยู่ในสภาพที่เป็นสปอร์ แต่เมื่อมีความชื้นสูงก็สามารถเจริญได้ดี จะพบได้ตามเปลือกไม้ ใบไม้ ขอนไม้ รั้วบ้านที่เป็นไม้ เรียกพวกนี้ว่า สาหร่ายอิพิไฟติค (epiphytic algae) บางชนิดอาจขึ้นอยู่ตามหน้าผา

ก้อนหิน ผนังตึกที่ได้รับความชื้นพอสมควร เรียกว่า สาหร่ายอิพิลิธิค (epilithic algae) และบางชนิดเจริญอยู่ตามพื้นดิน เจริญได้ทั้งดินที่มีความชื้นน้อยหรือดินที่เปียกชื้นตลอดเวลา รวมทั้งดินที่มีน้ำขังเอ่ออยู่เสมอ บางชนิดสามารถเจริญอยู่ในดินที่มีความลึกถึง 1 เมตร เรียกว่า เทอเรสเทรียล (terrestrial algae)

2.2.2 สาหร่ายที่เจริญอยู่ในน้ำ

จะมีจำนวนชนิด และปริมาณมากที่สุด มีทั้งอยู่ในน้ำจืดและในน้ำทะเล ดังนี้

1) สาหร่ายที่เจริญในน้ำจืด สภาพของแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน อาจทำให้พบชนิดของสาหร่ายได้แตกต่างกัน ได้แก่ สาหร่ายที่ขึ้นในสภาพที่มีน้ำไหล เช่น น้ำตก แม่น้ำ ลำคลองต่าง ๆ มักจะมีโฮลฟาสต์ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยึดกับพื้นดิน หรือหิน เพื่อป้องกันการหลุดลอยไปกับกระแสน้ำ สำหรับแหล่งน้ำที่มีสภาพน้ำค่อนข้างนิ่ง เช่น ในบ่อน้ำและสระน้ำ จะพบสาหร่ายได้หลายชนิดทั้งพวกที่ลอยอยู่เป็นอิสระบนผิวน้ำ พวกที่ขึ้นอยู่บนต้นไม้หรือพืชน้ำ พวกที่ขึ้นหรือนอนก้นอยู่ตามพื้นน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความอุดมสมบูรณ์ของอินทรีย์สารในแหล่งน้ำนั้น ส่วนแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีปริมาณน้ำมาก เช่น ทะเลสาบ ปริมาณแสง อุณหภูมิ และลม จะทำให้สภาพน้ำในทะเลสาบแต่ละฤดูกาลแตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่วนสาหร่ายที่เจริญอยู่ในแอ่งน้ำ คูน้ำ บึง และหนองน้ำ ก็จะคล้ายกับพวกที่เจริญอยู่ในบ่อน้ำ สระน้ำ และในทะเลสาบ

ในแหล่งน้ำจืดทุกแหล่งที่กล่าวมา บางครั้งอาจสังเกตพบว่าสาหร่ายรวมตัวกันลอยเป็นแพตามผิวน้ำมีลักษณะเป็นเมือก ๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า วอเตอร์บลูม (water bloom) หรือพอนด์สคัม (pond scum) เกิดจากสาหร่ายหลาย ๆ ชนิดเจริญขึ้นมากมายภายใต้สภาวะที่เหมาะสม อาจมีพวกฟังไจและพวกสัตว์น้ำเล็ก ๆ ปะปนอยู่ด้วย

2) สาหร่ายที่เจริญในน้ำทะเล แบ่งออกเป็นหลาย ๆ บริเวณ สาหร่ายที่เจริญในแต่ละบริเวณมีลักษณะที่แตกต่างกันไป บริเวณที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลาจะมีสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นทัลลัสขึ้นอยู่ โดยมีส่วนที่คล้ายกับราก เรียกว่า ไรซอยด์ฝังลงไปในพื้นทราย ส่วนผิวน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจะมีแพลงก์ตอนพืชพวกไดอะตอม ไดโนแฟลกเจลเลตอยู่มากกว่าชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นก็มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประเภทเซลล์เดี่ยวและโคโลนีล่องลอยปะปนอยู่ บริเวณกลางมหาสมุทรจะพบเฉพาะแพลงก์ตอนพืชล่องลอยอยู่เป็นจำนวนมาก

ในน้ำทะเลมักมีปรากฏการณ์ที่น่าสนใจเกี่ยวกับสาหร่ายเกิดขึ้นเสมอ เช่น ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เรดดิชบลูม (reddish bloom) ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก *Oscillatiria* เจริญขึ้นอย่างมากมาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมเหมาะสมในบริเวณทะเลแดง หรือในมหาสมุทรอินเดีย ทำให้สัตว์น้ำตายจำนวนมาก ปรากฏการณ์อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า เรดไทด์ (red tide) หรือที่เรียกว่าขี้ปลาวาฬ เกิดจากสาหร่ายไดโนแฟลกเจลเลตพวก *Gonyaulax* และ *Gymnodinium* เจริญขึ้น

อย่างมากมายแล้วปล่อยสารพิษลงในน้ำทะเลเป็นสีแดง และทำให้สัตว์น้ำบริเวณนั้นตายเป็นจำนวนมาก

ปรากฏการณ์วอเตอร์บลูม เรดดิชบลูม และเรดไทด์ รวมเรียกว่า ยูโทรพีเคชั่น (eutrophication) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำ เช่น ทำให้สัตว์น้ำตายหรืออพยพไปอยู่ที่อื่น น้ำขาดออกซิเจน ทำให้กลิ่น รส และสีของน้ำเปลี่ยนแปลงไป แหล่งน้ำตื้นเขินทำให้สูญเสียทัศนียภาพและเป็นการเพิ่มมลพิษของสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นด้วย

2.2.3 สาหร่ายที่เจริญในสภาพผิดปกติ

เช่น สาหร่ายที่ขึ้นอยู่บนหิมะเป็นสาเหตุทำให้หิมะมีสีแดง เหลือง เขียว และสีอื่น ๆ สาหร่ายในน้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำร้อนจะมีชีทหุ้มหนาเป็นพวกไขมันที่สามารถทนต่อความร้อนได้ดี สาหร่ายซิมไบโอติคอาศัยอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่นแบบภาวะพึ่งพา สาหร่ายพาราไซติคที่ขึ้นอยู่กับพืชอื่นแล้วทำให้พืชชนิดนั้นเกิดโรคขึ้นได้

2.3 กลุ่มของสาหร่ายและการจัดจำแนก

สาหร่ายสามารถจัดจำแนกได้หลายกลุ่มซึ่งแตกต่างกันไป ตามวิธีการจัดจำแนกของนักสาหร่ายวิทยาแต่ละคน โดยอาศัยหลักเกณฑ์ทั่วไปดังนี้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556)

2.3.1 รงควัตถุที่อยู่ในเซลล์ ซึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสง รงควัตถุหลักที่พบในสาหร่ายทุกชนิดคือ คลอโรฟิลล์เอ ส่วนรงควัตถุรองจะแตกต่างกันไป เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดงมีรงควัตถุพวกไฟโคไซยานินและไฟโคเออริธรินเพิ่มขึ้นมา สาหร่ายสีเขียวจะมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ เป็นต้น

2.3.2 องค์ประกอบของผนังเซลล์ ในสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันไป บางชนิดจะเป็นพวกเซลลูโลส เช่นในพืช บางชนิดอาจมีสารบางอย่างสะสม เช่น ซิลิกาในไดอะตอม อัลจินหรืออัลจิเนตในสาหร่ายสีน้ำตาล วุ้นในสาหร่ายสีแดง หรือแคลเซียมในสาหร่ายสีเขียวและสีแดงบางชนิด

2.3.3 อาหารที่สะสมในเซลล์ อาหารที่สะสมในเซลล์สาหร่ายส่วนใหญ่เป็นสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ไม่เหมือนกันทำให้พบอาหารสะสมในเซลล์สาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น พบแป้งพวกอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสาหร่ายสีเขียว ลามินารินในสาหร่ายสีน้ำตาล หรือน้ำมันในสาหร่ายยูกลีนอยด์

2.3.4 จำนวนและตำแหน่งของแฟลเจลลัม สาหร่ายบางชนิดเคลื่อนที่ด้วยแฟลเจลลัม แต่บางชนิดก็ไม่มีแฟลเจลลัม จำนวนและตำแหน่งของแฟลเจลลัมในเซลล์ใช้ในการจัดจำแนกสาหร่ายได้

2.3.5 สาหร่ายน้ำจืดที่พบทั่วไปประกอบด้วย 5 ดิวิชัน ได้แก่ ดิวิชัน Cyanophyta ดิวิชัน Bacillariophyta ดิวิชัน Euglenophyta ดิวิชัน Chlorophyta และดิวิชัน Chrysophyta ซึ่งมีลักษณะสัณฐานวิทยาดังนี้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556)

2.3.5.1 ดิวิชัน Cyanophyta

2.3.5.1.1 วงศ์ Chroococcaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Microcystis* กลุ่มเซลล์มีรูปร่างไม่แน่นอน อาจเป็นรูปกึ่งทรงกลมหรือรี ภายในกลุ่มเซลล์ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากอัดรวมกันอยู่ภายในสารเมือก กลุ่มเซลล์เพิ่มขึ้นได้โดยอาศัยการแตกหักและการแบ่งเซลล์ ภายในเซลล์มีแก๊สแวคิวโอล เป็นสาหร่ายประเภทสร้างสารพิษที่เจริญรวดเร็วพบมากที่สุด เพราะเป็นสกุลที่ทำให้เกิดการบลูมของน้ำ สีของเซลล์เขียว เขียวแกมน้ำเงิน

2.3.5.1.2 วงศ์ Merismopediaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Coelomoron* เซลล์รูปรีหรือรูปไข่ อยู่รวมกันเป็นกลุ่มในแนวรัศมี โคโลนีประกอบด้วยเซลล์ 1-2 แถว โคโลนีมีเมือกหุ้ม บาง ไม่มีสี เกิดการแบ่งเซลล์ใน 2 ระนาบ สีของเซลล์เขียวแกมน้ำเงินอ่อน เขียวอ่อน

สกุล *Merismopedia* กลุ่มเซลล์มีลักษณะเป็นแผ่นแบน โดยแต่ละเซลล์รูปร่างค่อนข้างกลมหรือรีมีความกว้างใกล้เคียงกับความยาว การจัดเรียงตัวของเซลล์เป็นแบบกลุ่ม ๆ ละ 4 เซลล์ อย่างเป็นระเบียบและรูปร่างเป็นเส้นตรง ปรากฏลักษณะเป็นแถว ๆ ฝังอยู่ในแผ่นเมือกใส ก่อนการแบ่งเซลล์เซลล์มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่หลังจากแบ่งเซลล์ เซลล์จะมีลักษณะค่อนข้างกลมหรือครึ่งวงกลม มีการแบ่งเซลล์ในสองทิศทางโดยตั้งฉากกับระนาบของกลุ่มเซลล์ สีของเซลล์เขียวแกมน้ำเงิน

2.3.5.1.3 วงศ์ Nostocaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Anabaena* เป็นเส้นสายมีทั้งที่เป็นสายตรง ขดเป็นเกลียว หรือโค้งงอไม่แตกแขนง เซลล์แต่ละเซลล์มีลักษณะกลมคล้ายลูกปัด บางชนิดมีลักษณะคล้ายถังเบียร์ หรือรูปเหลี่ยมมาเรียงต่อกัน สร้างเฮเทอโรซิสต์หรืออะคินีทรูปกลมหรือรีที่มีขนาดเซลล์ใหญ่กว่าเซลล์ปกติที่บริเวณตำแหน่งปลายหรือภายในเส้นสาย สีของเซลล์เทาจนถึงเขียวแกมน้ำเงิน เขียวเข้ม

สกุล *Cylindrospermopsis* ตรัยโคมอยู่เดี่ยว ๆ มีลักษณะเหยียดตรงหรือโค้งเล็กน้อยหรือขดเป็นเกลียว อาจมีหรือไม่มีการคอดเว้าเล็กน้อยระหว่างเซลล์ แต่เซลล์ที่ติดกันมีแก๊สแวคิวโอลภายในเซลล์ แต่บางครั้งอาจปรากฏไม่ชัด มีเฮเทอโรซิสต์รูปไข่หรือโคนยาวอยู่ปลายเส้นสายทั้งสองด้าน อะคินีททรงกระบอกยาว หรือรูปไข่อยู่ติดกับหรืออาจอยู่ห่างจากเฮเทอโรซิสต์ 1 เซลล์ บางครั้งอะคินีทไม่ปรากฏ สีของเซลล์เขียวแกมน้ำเงิน

2.3.5.1.4 วงศ์ Oscillatoriaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Oscillatoria* ลักษณะเป็นเส้นสายซึ่งประกอบด้วยเซลล์มาเรียงตัวกันเรียกว่า ตรัยโคม รูปร่างทรงกระบอก เหยียดตรงหรือเป็นเกลียวเล็กน้อย แต่ไม่มีการแตกแขนงโดยปกติแล้วตรัยโคมไม่มีเมือกหุ้ม และที่ปลายสายมีเซลล์ปลายสุดที่เรียกว่า apical cap cell ซึ่งแตกต่างจากเซลล์อื่น ๆ ที่อยู่ภายในสาย กล่าวคือ เซลล์ปลายสุดมีลักษณะมน ในบางชนิดอาจมีลักษณะยาว เรียวแหลม หรือมีลักษณะเป็นลูกตุ้ม เส้นสายจะสร้างโฮโมโกเนียในการสืบพันธุ์ ไม่มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์และอะคินีท เซลล์มีรูปร่างคล้ายเหรียญ เส้นสายมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว สีของเซลล์เขียว เขียวแกมน้ำเงิน เทาเขียว น้ำตาล ดำ

สกุล *Planktolyngbya* เส้นสายมีลักษณะเหยียดตรง บางชนิดอาจเป็นเกลียวแบบสม่ำเสมอจนถึงเกลียวแบบไม่สม่ำเสมอ เส้นสายจะอยู่เดี่ยว ๆ มีเมือกบาง ๆ ไม่มีสีห่อหุ้มโดยรอบและยาวเกินปลายของเส้นสายออกไป สีของเซลล์เขียวแกมน้ำเงิน

2.3.5.1.5 วงศ์ Oscillatoriales สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Spirulina* เป็นเซลล์เดี่ยว หรืออาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์เป็นรูปทรงกระบอกยาวคล้ายเส้นด้ายปลายมน บิดเป็นเกลียวคล้ายลวดสปริง บริเวณปลายสุดจะเรียวเป็นรูปกรวย ไม่มีชีทหุ้ม สีของเซลล์เขียวเข้ม เขียวแกมน้ำเงิน

2.3.5.1.6 วงศ์ Rivulariaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Calothrix* เซลล์เป็นเส้นสายที่ไม่แตกแขนง เป็นเส้นสายที่มีความกว้างของเซลล์ไม่เท่ากันทั้งสาย ตรงโคนมีขนาดใหญ่ส่วนปลายเรียว มีชีทหุ้มตลอดสาย สีของเซลล์เขียวคล้ำน้ำตาล

2.3.5.2 ดิวิชัน Bacillariophyta

2.3.5.2.1 วงศ์ Bacillariaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Nitzschia* เซลล์มีลักษณะตรงรูปร่างเหมือนเข็ม หรือรูปรีแบบใบข้าว ปลายเซลล์ทั้งสองข้างมักแหลม หรืออาจมนหรือพองออกเป็นกระเปาะ มีราฟีอยู่ที่ขอบฝาด้านใดด้านหนึ่ง ลวดลายบนเซลล์เป็นเส้นพาดขวางขนานกัน ภายในเซลล์มีคลอโรพลาสต์ 2 อัน อยู่ด้านบนและด้านล่างตามแนวยาวของเซลล์ มีไพรีนอยด์จำนวนมาก สีของเซลล์น้ำตาล

2.3.5.2.2 วงศ์ Brachysiraceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Brachysira* เซลล์สมมาตร มีลักษณะตรงถึงรูปร่างเรียวแหลมหรือรูปกางเขนปลายเซลล์กลมมนไปจนถึงยืดขยายออก ลวดลายบนฝาเซลล์เป็นรูขนาดเล็กเรียงต่อกัน ผิวเป็นลูกคลื่นตามแนวยาว ราฟีตรงและเป็นแกนแคบ อาจพบการเจริญเป็นเซลล์เดี่ยวไม่ยึดเกาะหรือสร้างก้านเมือกยึดเกาะสีของเซลล์น้ำตาล

2.3.5.2.3 วงศ์ Fragilariaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Diatoma* เซลล์ต่อกันเป็นสายตรงหรือแบบซิกแซก เซลล์มีรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าจนถึงสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาจมีรอยคอดหรือพองออก รูปคล้ายกระดูก ลวดลายบนฝาเป็นซี่สลับกับเส้นบางซึ่งเกิดจากรูเล็ก ๆ เรียงกันเป็นแถวทั้งลายตามขวางและตามยาวร่องกลางเป็นเส้นใสและแคบ มีอินเตอร์คาลารีแบนด์ 1-2 วง คลอโรพลาสต์รูปไข่ขนาดเล็กจำนวนมาก สีของเซลล์น้ำตาล สีเหลืองทอง

สกุล *Synedra* เซลล์มีรูปร่างเรียวยาวและตรงคล้ายเข็มอาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือรวมเป็นกลุ่มเซลล์รูปพัดหรืออาจเป็นสายตรง มีราฟีเทียมอยู่ตรงกลางระหว่างลวดลายที่อยู่ทางขวางของเซลล์ กึ่งกลางเซลล์อาจมีพื้นที่ใส ๆ หรือไม่มีก็ได้ คลอโรพลาสต์เป็นแผ่นขนาดเล็กจำนวนมาก สีของเซลล์น้ำตาล

2.3.5.2.4 วงศ์ Melosiraceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Aulacoseira* ฝาของเซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกต่อกันเป็นสายอย่างแน่น อาจเป็นสายตรง โค้งงอหรือขดกลม ผิวของฝาเรียบหรือเป็นรูเล็ก ๆ กระจัดกระจายเรียงกันเป็นแถวตรงหรือโค้ง มีหนามที่ยาวแตกต่างกันอยู่รอบขอบฝาของเซลล์เพื่อใช้เกาะเกี่ยวกับเซลล์ข้างเคียง สีของเซลล์น้ำตาล

2.3.5.2.5 วงศ์ Naviculaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Gomphonema* ฝาของเซลล์มีรูปร่างแตกต่างกันหลายรูปแบบอาจมีรูปร่างยาวเรียว รูปไข่ทรงแคบหรือรูปหอก โดยทั่วไปมีรูปร่างคล้ายลิ่มด้านหัวโป่งออก มีทั้งเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือรวมเป็นกลุ่มเซลล์ ราฟีอยู่กลางเซลล์ซึ่งมีความยาวต่างกันโดยส่วนบนจะสั้นกว่า ที่บริเวณจุดกึ่งกลางจะขยายออกเป็นวงและมีรูหนึ่งหรือหลายรูวางตัวอยู่นอกจุดศูนย์กลางของวงนี้ มีคลอโรพลาสต์เป็นรูปตัว H หนึ่งอัน สีของเซลล์น้ำตาล

สกุล *Navicula* ฝาของเซลล์มีลักษณะค่อนข้างยาวคล้ายรูปเรือหรือทรงซิการ์ โดยมีปลายมนหรือแหลมหรือพองออก บางครั้งจะอยู่รวมกันในเยื่อเมือกหรือท่อเมือก ฝาทั้งสองด้านจะพบราฟีที่เป็นเส้นตรงและอยู่ในบริเวณใสที่กึ่งกลางเซลล์ และบางคล้ายเส้นด้าย ลวดลายบนฝาจะเป็นรูขนาดเล็ก รูปร่างกลมหรือยาวและไม่มีพื้นที่ว่างกลางเซลล์ คลอโรพลาสต์มักเป็นแผ่นแบน ๆ 2 อันอยู่ในด้านของเกอร์เดิลที่ตรงข้ามกัน สีของเซลล์น้ำตาล

สกุล *Pinnularia* เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ รูปร่างรีค่อนข้างยาวคล้ายเรือ ปลายทั้งสองข้างมีลักษณะพองออกเป็นกระเปาะหรืออาจปลายกลมมน ราฟีเป็นแนวตรงตลอดความยาวของฝาในแนวกึ่งกลางของฝา ลวดลายบนฝาเป็นซี่พาดขวางหรือเฉียงในแนวรัศมี คลอโรพลาสต์รูปร่างเป็นแผ่น 2 แผ่นเรียงอยู่รอบ ๆ เกอเดิลสีของเซลล์น้ำตาล

สกุล *Stauronesis* เซลล์อยู่เดี่ยว ๆ รูปร่างฝาของเซลล์คล้ายหอกหรือรูปรีแบบใบข้าว ปลายเซลล์กลมมนหรือพองออกเป็นกระเปาะ ราฟีอยู่ตรงกลางคล้ายเส้นด้าย เป็นรูปคล้ายกากบาท ลวดลายบนฝาเซลล์เป็นรูขนาดเล็กขนานกันหรือเรียงตัวกันในแนวรัศมี ตรงกลางเซลล์เป็นบริเวณใสพาดตามยาวสีของเซลล์น้ำตาล

2.3.5.3 ดิวิชัน Euglenophyta

2.3.5.3.1 วงศ์ Euglenaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Euglena* เซลล์สีเขียวรูปร่างเรียว บริเวณส่วนหน้าของเซลล์มีลักษณะเว้าเข้าไปเป็นท่อ และส่วนปลายท่อพองออกเป็นแอ่ง (reservoir) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของแฟลเจลลัมจำนวน 2 เส้นยาวไม่เท่ากัน เส้นที่หนึ่งเป็นเส้นสั้นอยู่ในแอ่ง อีกเส้นหนึ่งมีความยาวมากกว่ายื่นออกนอกเซลล์ มีอายสปอตสีแดงอยู่บริเวณด้านข้างของแอ่ง บางชนิดเซลล์มีสีแดงเนื่องจากมีรงควัตถุพวกฮีมาโตโครมเคลื่อนมาปกคลุมคลอโรฟิลล์ คลอโรพลาสต์รูปไข่หลายอัน มีพาราไมลัมเซนเตอร์ลักษณะคล้ายจานแบนอยู่ในเซลล์ สีของเซลล์เขียว แดง

สกุล *Lepocinclis* เซลล์รูปร่างกลมรี หรือคล้ายลูกแพร์ บริเวณส่วนหน้าของเซลล์มีลักษณะเว้าเข้าไปเป็นท่อและพองออกเป็นแอ่งที่ส่วนปลาย ส่วนหน้าของเซลล์มีอายสปอตสีแดงจำนวน 1 อัน ภายในเซลล์มีนิวเคลียส 1 อัน มีคลอโรพลาสต์รูปกลมขนาดเล็กจำนวนมาก มีพาราไมลัมเซนเตอร์รูปวงแหวน 2-4 อัน อยู่ตามแนวของเพลลิเคิล มีแฟลเจลลัม 1 เส้น สีของเซลล์เขียว

สกุล *Phacus* เซลล์รูปร่างเกือบกลม โดยจะกว้างด้านบนแต่ท้ายเรียว เมื่อมองด้านข้างเซลล์แบนรูปร่างคล้ายใบไม้ ภายในเซลล์มีเพลลิเคิลเป็นสัน บริเวณใกล้ส่วนหน้าของเซลล์มีลักษณะเว้าเข้าไปเป็นท่อและปลายพองออกเป็นแอ่งซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของแฟลเจลลัม บริเวณด้านข้างของแอ่งมี อายสปอตสีแดง มีคลอโรพลาสต์ขนาดเล็กจำนวนมาก เซลล์บิดเป็นเกลียวบริเวณด้านท้ายมีพาราไมลัมเซนเตอร์รูปโดนัทหรือคล้ายจาน มีแฟลเจลลัม 1 เส้น สีของเซลล์เขียวอ่อน

สกุล *Trachelomonas* เซลล์รูปร่างกลมหรือรูปไข่อยู่ภายในปลอกที่เรียกว่าลอริกาซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ กันซึ่งอาจเป็นทรงกลมจนถึงรูปไข่ สีน้ำตาลหรือสีแทน มีอายสปอตสีแดงอยู่ส่วนหน้าของเซลล์ มีแฟลเจลลัม 1 เส้น ลอริกาอาจเรียบหรือมีหนามเป็นซี่ ๆ รอบ ๆ ลอริกาลวดลายแตกต่างกัน สีของเซลล์เขียว น้ำตาลแดง

2.3.5.4 ดิวิชัน Chlorophyta

2.3.5.4.1 วงศ์ Botryococcaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Botryococcus* กลุ่มเซลล์ค่อนข้างกลมหรือมีรูปร่างไม่แน่นอน ประกอบด้วยเซลล์รูปไข่หรือทรงกลมเรียงกันแน่นในแนวรัศมีโดยมีสารเมือกหุ้มโดยรอบ คลอโรพลาสต์คล้าย

ร่างแหขนาดค่อนข้างเล็ก มีไพรีนอยด์ 1 อัน มีแป้งและหยดน้ำมันจำนวนมากในกลุ่มเซลล์ สีของเซลล์เขียวปนเหลือง ส้ม ส้มแดง

2.3.5.4.2 วงศ์ Chlorellaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Chlorella* เซลล์มีขนาดเล็ก รูปร่างกลมหรือรี เซลล์อยู่เดี่ยว ๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่มเซลล์เล็ก ๆ ซึ่งมีรูปทรงไม่แน่นอน คลอโรพลาสต์รูปถ้วยหรือเป็นแผ่นแบนอยู่ด้านข้าง อาจมีหรือไม่มีไพรีนอยด์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Closteriopsis* เซลล์อยู่เดี่ยว ๆ มีรูปร่างเรียวยาวแหลมหัวแหลมท้าย อาจตรงหรือโค้งหรือเป็นคลื่น ผนังเซลล์เรียบ คลอโรพลาสต์มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนหรือเป็นเกลียวตลอดความยาวของเซลล์ 1 อัน มีไพรีนอยด์จำนวนมากเรียงตัวตามแนวยาวบนคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Dictyosphaerium* กลุ่มเซลล์ประกอบด้วย 4, 8, 16, 32 หรือ 64 เซลล์ มีรูปร่างกลม รูปไข่ เข็มหรือรูปร่างคล้ายไต จากกลุ่มเล็กจะรวมกลุ่มเป็นกลุ่มใหญ่ มีเมือกใส ๆ หุ้มโดยรอบ กลุ่มเซลล์ยึดกันด้วยเส้นสายบาง ๆ ที่แผ่เป็นในแนวรัศมีที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน มีคลอโร-พลาสต์รูปร่างคล้ายถ้วย 1-2 อัน และมีไพรีนอยด์ 1 อันบนคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

2.3.5.4.3 วงศ์ Cladophoraceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Cladophora* เป็นเส้นสายขนาดใหญ่ มองเห็นด้วยตาเปล่า แตกแขนงแบบไม่เป็นพุ่มหรือแตกแขนงแบบ 2 ง่าม เส้นสายประกอบด้วยเซลล์รูปร่างทรงกระบอกต่อกันเป็นสายยาว ผนังเซลล์หนา ยึดเกาะโดยใช้ไรซอยด์และฝาหรือโฮลฟาสต์เซลล์อาจมีนิวเคลียสมากกว่า 1 อัน คลอโรพลาสต์มีรูปร่างเป็นร่างแห และมีไพรีนอยด์หลายอัน ในประเทศไทยมีชื่อสามัญว่า “สาหร่ายไก” สีของเซลล์เขียว

2.3.5.4.4 วงศ์ Desmidiaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Closterium* เซลล์เดี่ยวแต่ละเซลล์ประกอบไปด้วย 2 เซมิเซลล์ ไม่มีรอยคอดที่บริเวณกึ่งกลางเซลล์ เซลล์ยาวโค้งงอปลายเรียวคล้ายพระจันทร์เสี้ยว ยาว 2-15 เท่าของความกว้าง ผนังเซลล์ส่วนมากไม่มีสีเรียบหรืออาจพบลวดลายบ้างหรืออาจมีรูเล็กๆ เรียงเป็นแถวตามยาว ในแต่ละเซมิเซลล์มีคลอโรพลาสต์เป็นแนวยาวตามความยาวของเซลล์ มีไพรีนอยด์หลายเม็ดเรียงเป็นแถวเดี่ยว แผ่นคลอโรพลาสต์บริเวณปลายยอดมีถุงแวคิวโอลที่ภายในบรรจุผลึกแคลเซียมซัลเฟตเรียกว่า ผลึกไฮยาลีน สีของเซลล์เขียว

สกุล *Cosmarium* เซลล์เดี่ยวมีขนาดแตกต่างกัน ประกอบไปด้วยเซมิเซลล์ที่อาจเป็นรูปไข่แบนรูปหกเหลี่ยมหรือหลายเหลี่ยมมาต่อเชื่อมกัน ด้านยอดของเซลล์แบนโดยมีส่วนที่คอดเว้าค่อนข้างลึก มักมีหนามอยู่เป็นคู่ แต่ละเซมิเซลล์มีคลอโรพลาสต์ 1 อันอยู่ตรงกลางสีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

สกุล *Hyalotheca* เซลล์ทรงกระบอกมน ขอบเซลล์เรียบไม่มีหนาม แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ มีรอยคอดเว้าระหว่างเซมิเซลล์เล็กน้อยจนเกือบมองไม่เห็น ด้านบนของเซลล์เรียบแบนและมุมของเซลล์มีลักษณะมน เซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสายยาวไม่มีการแตกแขนง โดยมีเมือกหุ้มตลอดเส้น คลอโรพลาสต์แบบแกนยาว มีไพรีนอยด์ 1 อันในคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Micrasterias* เซลล์เดี่ยวๆ ยกเว้น *M. foliacea* ที่อยู่ต่อกันเป็นเส้นสายอย่างหลวม ๆ เซลล์มีขนาดใหญ่ แบนรี ค่อนข้างกลม แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ ที่มีสมมาตรแบบ 2 ด้าน มีรอยคอดเว้าด้านข้างระหว่างเซมิเซลล์ แบ่งออกเป็น 3 พู ด้านบน 1 พู และด้านข้าง 2 พูซึ่งอาจแบ่งย่อยไปอีกพูด้านบนแผ่แบนที่ปลายยอดบางครั้งอาจมีปุ่มหรือหนามยื่นยาวออกมา แต่ละเซมิเซลล์จะมีคลอโรพลาสต์ 1 แผ่นอยู่กลางเซลล์ซึ่งรูปร่างของคลอโรพลาสต์เปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของเซมิเซลล์ มีไพรีนอยมากน้อยต่างกันกระจายอยู่บนคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Onychonema* เส้นสายยาว ไม่มีการแตกแขนง แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ เซมิเซลล์มีรูปทรงแบบรูปไข่หรือรูปร่างคล้ายไต ที่มุมของแต่ละเซมิเซลล์มีหนามยื่นออกมา เซลล์อยู่อย่างอัดแน่น มองในแนวตั้งเป็นรูปไข่แบน มองจากด้านหน้ามีรอยคอดลึกและแคบจนเป็นเส้นตรง สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

สกุล *Pleurotaenium* เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ ขนาดใหญ่ รูปทรงกระบอก แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ มีรอยคอดเล็กน้อยกลางเซลล์ ที่ฐานของแต่ละเซมิเซลล์มีลักษณะโป่งพอง ปลายเซลล์ทั้งสองข้างมักตัดตรง ผนังเซลล์เรียบหรือเป็นคลื่น คลอโรพลาสต์เป็นแถบอยู่ขอบเซลล์ มีไพรีนอยด์กระจายอยู่บนแผ่นคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Sphaerozosma* เซมิเซลล์เป็นรูปไข่หรือรูปไต โดยมีก้านสั้น ๆ อยู่ที่ขั้วเซมิเซลล์ขั้วละ 1 ก้านใช้ในการเกี่ยวเซลล์เข้าด้วยกันจนเซลล์เข้ามาติดกันต่อเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง เส้นสายมักจะบิดบางครั้งพบว่ามีเมือกหุ้ม ผนังเซลล์อาจมีปุ่มหรือเรียบ มีคลอโรพลาสต์ 1 แผ่นอยู่กลางเซมิเซลล์ และมีไพรีนอยด์ 1 เม็ดอยู่บนคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

สกุล *Spondylosium* เซลล์ต่อกันเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง ขนาดของเซลล์แตกต่างตามชนิด แต่ละเซลล์เห็นรอยคอดชัดเจน ไม่มีตุ่มหรือหนามที่ผนังเซลล์ มีคลอโรพลาสต์หลายแผ่นอยู่กลางเซลล์ แต่ละคลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์ 1 เม็ด สีของเซลล์เขียว

สกุล *Staurastrum* เซลล์มักจะอยู่เดี่ยว ๆ ส่วนใหญ่รูปร่างสมมาตรแบบรัศมี บางชนิดมีสมมาตรแบบซ้ายขวา มีรอยคอดตรงกลางระหว่าง 2 เซมิเซลล์ เมื่อมองจากด้านบนเซมิเซลล์มีรูปทรงแบบรูปไข่ สามเหลี่ยม สีเหลี่ยมคางหมูหรือหลายเหลี่ยม และมีโครงสร้างเป็นรยางค์ที่คล้ายแขนยื่นออกมาจากแต่ละเซมิเซลล์ และที่ปลายรยางค์มีหนามตั้งแต่ 2 หนาม หรือมากกว่ามอง

จากด้านข้าง มักจะมีลักษณะ 3 แฉก ผนังเซลล์เรียบหรือมีลวดลาย หรือมีหนาม มีตุ่มหรือซี่เล็ก ๆ เรียงอยู่ สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

สกุล *Staurodesmus* เซลล์ประกอบไปด้วย 2 เซมิเซลล์ ซึ่งมักจะมีรูปร่างเป็นสามแฉก บางชนิดมีสอง หรือสี่แฉก ที่มุมของแต่ละแฉกจะมีหนามหนึ่งอัน เซมิเซลล์มีรูปร่างคล้ายรูปไข่ รูปไต รูปถ้วย ขวดรูปชมพู่ พระจันทร์เสี้ยว จนถึงทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

2.3.5.4.5 วงศ์ Hydrodictyceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Pediastrum* กลุ่มเซลล์มีลักษณะแบน เป็นเซลล์ชั้นเดียว รูปร่างคล้ายจานหรือรูปดาวแบน ผนังชั้นเดียว โดยปกติมี 4, 8, 16, 32 หรือ 64 เซลล์ หรือมากกว่า โดยเซลล์เหล่านี้อาจอยู่ชิดกันหรือมีช่องว่างระหว่างเซลล์ ขอบของเซลล์ที่อยู่ด้านริมจะมีส่วนที่ยื่นออกไป 1, 2 หรือ 4 อัน บางครั้งขอบจะมีลักษณะหยัก ผนังเซลล์เรียบ บางครั้งอาจมีหนามที่มีลักษณะเป็นเมือกปกคลุมเซลล์และบางครั้งอาจพบเมือกคลุมส่วนที่ยื่นออกไปจากเซลล์บริเวณขอบ คลอโรพลาสต์มีขนาดใหญ่เป็นแผ่นหรือเป็นตาข่ายและมีไพรีนอยด์ 1 อัน สีของเซลล์เขียวอ่อน

สกุล *Tetraedron* เซลล์อยู่เดี่ยว ๆ มีรูปร่างหลายแบบ อาจเป็นสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หรือหลายเหลี่ยมก็ได้และมีรูปร่างแบน เซลล์มีมุมที่อาจมีหรือไม่มีหนาม ผนังเซลล์เรียบ มีคลอโรพลาสต์หนึ่งหรือมากกว่า มักพบไพรีนอยด์บนคลอโรพลาสต์ สีของเซลล์เขียว

2.3.5.4.6 วงศ์ Scenedesmaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Scenedesmus* กลุ่มเซลล์เรียงต่อกันในระนาบเดียวเป็นแถวตรงหรือเรียงต่อกันแบบซิกแซก เซลล์อยู่รวม 2-4-8 เซลล์ อาจพบ 16-32 เซลล์ ส่วนมากพบเป็นทวีคูณของ 2 เซลล์ แต่ละเซลล์มีรูปร่างโค้งรูปไข่แบนหรือรูปไข่ หรือทรงกระบอกหรือรูปพระจันทร์เสี้ยว การเรียงตัวอาจเป็น 1 หรือ 2 แถว โดยใช้ด้านข้างเซลล์เชื่อมกัน ผนังเซลล์เรียบหรือมีลักษณะคล้ายเม็ดเล็ก ๆ ติดอยู่ ด้านข้างพบลักษณะที่เป็นสัน เป็นฟัน หรือหนามเล็ก ๆ สีของเซลล์เขียว

2.3.5.4.7 วงศ์ Selenastraceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *kirchneriella* กลุ่มเซลล์มีรูปร่างทรงกลม หรือรี รูปร่างไม่แน่นอน มีเมือกหุ้มกลุ่มเซลล์ เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกยาว อาจกว้างหรือแคบ มีลักษณะโค้งหรือรูปพระจันทร์เสี้ยว รูปร่างคล้ายตัวเอส หรือบิดเป็นเกลียว อาจจะมีหรือไม่มีไพรีนอยด์ ประกอบด้วยเซลล์จำนวน 2, 4, 8, 16 หรือ 32 เซลล์ เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เซลล์ส่วนใหญ่จะหันด้านโค้งนูนแตะกับเซลล์ที่อยู่ติดกัน สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียว

สกุล *Monoraphidium* เซลล์อยู่เดี่ยว ๆ รูปร่างแบบกระสวย บางชนิดปลายทั้งสองแหลมเป็นเกลียวและบิด บางชนิดปลายมน ผนังบางและมักจะไม่มีเมือกหุ้ม คลอโรพลาสต์อยู่ข้างเซลล์ สีของเซลล์เขียวอ่อน เขียวเข้ม

2.3.5.4.8 วงศ์ Volvocaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Eudorina* กลุ่มเซลล์มี 16-32 เซลล์ เรียงตัวกันอยู่ในเมือกหุ้ม เซลล์มีรูปร่างกลม รูปไข่หรือรูปลูกแพร์ โดยแต่ละเซลล์แยกและมีช่องว่างระหว่างกันไม่เรียงชิดติดกัน อาจมีหรือไม่มีสายใยยึดระหว่างเซลล์ในไซโตพลาสซึม มีแฟลเจลลัม 2 เส้นยาวกว่าขนาดของเซลล์ คลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วย หรือรูปร่างไม่แน่นอน มีอายสปอตและคอนแทรกไทล์แวคิวโอล 2 อันอยู่ที่ส่วนหน้าของเซลล์ สีของเซลล์เขียวอ่อน

สกุล *Pandorina* กลุ่มเซลล์รูปร่างกลม หรือค่อนข้างกลม ประกอบด้วยเซลล์ 4, 8, 16 หรือ 32 เซลล์ โดยอยู่ในเมือกหุ้ม เซลล์รูปร่างกลม มีแฟลเจลลัม 2 เส้น ที่ยาวกว่าเซลล์ และอยู่เป็นรัศมีรอบกลุ่มเซลล์ คลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วย มีไพรีนอยด์ 1 หรือมากกว่า มีอายสปอตและโครมาโตฟอร์ สีของเซลล์เขียว

สกุล *Volvox* กลุ่มเซลล์มีขนาดใหญ่ รูปร่างกลม หรือค่อนข้างกลมมีจำนวนเซลล์ตั้งแต่หลายร้อยเซลล์จนถึงหลายพันเซลล์ เซลล์มีรูปร่างกลมหรือรี มีสารเมือกใสหุ้มกลุ่มเซลล์ มีกลุ่มเซลล์ลูกจำนวนเล็กน้อย หรือจำนวนมากอยู่ภายในกลุ่มเซลล์แม่ คลอโรพลาสต์รูปถ้วยขนาดใหญ่เกือบเต็มเซลล์ มีไพรีนอยด์ 1 อัน หรือมากกว่า มีแฟลเจลลัม 2 เส้น มีคอนแทร็กไทล์แวคิวโอลหลายอัน และอาจมีหรือไม่มีเส้นใยเชื่อมเซลล์ต่อเซลล์ สีของเซลล์เขียว

2.3.5.4.9 วงศ์ Zygnemataceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Spirogyra* เส้นสายค่อนข้างยาว ไม่มีการแตกแขนง เซลล์รูปทรงกระบอก ผนังเซลล์มีเมือกหุ้ม มีคลอโรพลาสต์บิดเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้นเริ่มจากปลายเซลล์ด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง บนคลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์หลายอันเรียงเป็นแนวระยะห่างเท่ากัน ในประเทศไทยมีชื่อสามัญว่า “เตา” หรือ “เทา” หรือ “เทาน้ำ” สีของเซลล์เขียว

2.3.5.5 ดิวิชัน Chrysophyta

2.3.5.5.1 วงศ์ Centritractaceae สกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Centritractus* เซลล์จะอยู่เดี่ยว ๆ มีรูปร่างแบบไข่แบนจนถึงทรงกระบอก เซลล์ตรงหรือโค้งเล็กน้อยและมีส่วนเป็นหนามอยู่แต่ละมุม มีคลอโรพลาสต์ข้างเซลล์หลายอัน พบหยดน้ำมันในเซลล์ด้วย สีของเซลล์เขียว

2.4 ความสำคัญของสาหร่าย

สาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ดังนี้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556)

2.4.1 ด้านระบบนิเวศแหล่งน้ำ สาหร่ายเป็นผู้ผลิตของระบบนิเวศในแหล่งน้ำ ดำรงชีวิตด้วยการสังเคราะห์แสงจากกระบวนการดังกล่าวได้ผลผลิตที่สำคัญคือออกซิเจนซึ่งมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากที่สุด และสาหร่ายยังเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำ ซึ่งเท่ากับเป็นสิ่งมีชีวิตใน

ลำดับแรกของโซ่อาหาร แพลงก์ตอนสัตว์จะกินสาหร่ายเป็นอาหาร ซึ่งแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้จะกลายเป็นอาหารของสัตว์น้ำอื่น ๆ เป็นทอด ๆ ไปและเมื่อสาหร่ายตายลงมวลชีวภาพของสาหร่ายยังเข้าสู่วัฏจักรการย่อยสลายโดยแบคทีเรียและจุลชีพอื่น ๆ ที่มีในน้ำ จึงอาจกล่าวได้ว่าสาหร่ายเป็นผู้ผลิตที่ถ่ายทอดพลังงานต่อไปในห่วงโซ่อาหาร (สรวิศ เผ่าทองสุข, 2543)

2.4.2 ด้านลดก๊าซเรือนกระจก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ในกระบวนการสังเคราะห์แสงสาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นวัตถุดิบ ในกรณีนี้สาหร่ายจึงเป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปรากฏการณ์โลกร้อนเช่นเดียวกับพืชทั่วไป

2.4.3 ด้านอาหาร สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ถูกใช้เป็นอาหารของสัตว์เลี้ยง เช่น วัว ควาย หรือสุกรมานาน ในขณะเดียวกันมนุษย์ก็บริโภคสาหร่ายทะเลมานานเช่นกัน โดยเฉพาะอาหารญี่ปุ่นจะมีสาหร่ายทะเลประกอบอยู่ด้วยเสมอ ที่นิยมกันมากคือ สาหร่ายสีแดง *Porphyra* spp. อาหารไทยประเภทต้มจืดก็นิยมใส่สาหร่ายประเภทนี้ ภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทยนิยมบริโภคสาหร่ายสีเขียวที่ชื่อ “เตา” หรือ “เทาน้ำ” หรือ *Spirogyra* spp. นอกจากนี้ยังมี “ไก” หรือ *Cladophora* spp. และ *Rhizoclonium* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายจากลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำน่าน ที่นำมาทำเป็นอาหารพื้นบ้านที่ได้รับความนิยมมากเช่นกัน สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Chlorella* spp. และ *Spirulina* spp. มีโปรตีนสูงประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีวิตามิน เกลือแร่และกรดไขมันจำเป็นบางชนิดที่มีผลในการป้องกันการเกิดโรคและการรักษาโรคบางอย่าง สาหร่ายดังกล่าวจึงกลายเป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่มีผู้นิยมรับประทานเป็นอาหารเสริมกันมากโดยเฉพาะ *Spirulina* spp. สาหร่ายดังกล่าวถ้ามีคุณภาพรองลงไปจะนำมาเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจหลายชนิดมีผลให้สัตว์โตเร็ว นอกจากนี้ยังมีเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีส้มหรือแดง ซึ่งมีผลให้สัตว์เลี้ยงมีเนื้อสีแดง ไข่แดงมีสีแดง ปลาบางชนิดมีสีสันสดใสมากขึ้น

2.4.4 ด้านอุตสาหกรรม สาหร่ายทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมหลายประเภท ดังนี้

- วุ้น (agar) ได้มาจากการสกัดสาหร่ายสีแดง เช่น *Gelidium* spp. และ *Gracilaria* spp. วุ้นใช้ประกอบอาหารจำพวกขนมหวาน หรือใช้ทำอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความนิ่มและข้นในพวกแยม ลูกอม ไอศกรีม เนย มายองเนส กันสนิมในอาหารกระป๋อง ผสมเบียร์และไวน์ให้มีสีใส ใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ เช่น ยาระบาย แคปซูลยา ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น ครีม โลชั่น น้ำมันใส่ผม ใช้ย้อมเส้นด้ายให้ทองง่ายขึ้น เคลือบกระดาษ เคลือบฟิล์ม ทำกาว หมึกพิมพ์ เป็นต้น

- คาร์ราจีนีน (carrageenin) ได้จากการสกัดสาหร่ายสีแดงมีคุณสมบัติคล้ายวุ้น แต่ต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่า การใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับวุ้น

- อัลจินหรืออัลจิเนต (align or alginate) ได้จากการสกัดสาหร่ายสีน้ำตาลบางชนิด เช่น *Laminaria* spp., *Macrocystis* spp., *Ascophyllum* spp. และ *Fucus* spp. เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความเหนียวใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการให้เกิดความคงรูปหรือความเหนียว เช่น ใส่ในอาหาร เครื่องสำอาง เวชภัณฑ์ สีทาบ้านและอื่น ๆ

- ไดอะโตไมท์หรือไดอะโตมาเซียสเอิร์ธ (diatomite หรือ diatomaceousearth) ได้จากไดอะตอมที่ตายแล้วมาทับถมกันกลายเป็นซากเหลือของผนังเซลล์ซึ่งเป็นซิลิกาไม่สลาย นำมาใช้เป็นเครื่องกรองในโรงงานอุตสาหกรรม ฉนวนกันความร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นผงขัดเงาในโลหะต่าง ๆ หรือส่วนประกอบของยาสีฟัน

2.4.5 ด้านการใช้เป็นพลังงานชีวภาพเนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชมีกรดไขมันสูงถึงประมาณ 20 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง บางชนิดสูงถึง 60-70 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง จึงมีการวิจัยเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อแก้ไขปัญหาการลดลงอย่างรวดเร็วของพลังงานจากน้ำมันและถ่านหินจากทุกภูมิภาคของโลก

2.4.6 ด้านเกษตรกรรม สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียซึ่งมีประโยชน์ต่อพืช และสามารถใส่แทนปุ๋ยในนาข้าวหรือแหล่งเกษตรกรรมอื่น ๆ ทำให้ได้ปุ๋ยชีวภาพช่วยให้ผลผลิตดีขึ้น

2.4.7 ด้านการแพทย์ สาหร่ายหลายชนิดสามารถใช้เป็นยารักษาโรคได้ ดังนี้

- ยาสมุนไพร เช่น สาหร่ายสีแดง *Digenia simplex* ใช้เป็นยาถ่ายพยาธิและรักษาโรคตานขโมย ใช้สารสกัดโซเดียมลามินารินซัลเฟตและฟิวคอยดินจากสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นยาให้เลือดแข็งตัว ใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostochopsis* spp. หรือที่เรียกว่า “ลอน” หรือ “ไข่หิน” แก้โรคร้อนใน เป็นต้น

- ยาปฏิชีวนะ สาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างสารต้านทานการเจริญของแบคทีเรีย เช่น chlorellin จากสาหร่าย *Chlorella* spp. นอกจากนี้ยังมีสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอมบางชนิดที่สามารถสร้างสารปฏิชีวนะได้

2.4.8 ด้านบำบัดน้ำเสีย ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่มากับน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ฟอสเฟต ไนเตรด แอมโมเนียและอื่น ๆ สาหร่ายสามารถใช้สารอนินทรีย์เหล่านี้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้ปริมาณสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ลดลง ในขณะเดียวกันปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

2.4.9 ด้านการใช้เป็นสิ่งมีชีวิตติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ เนื่องจากสาหร่ายหลายชนิดสามารถเจริญในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพแตกต่างกัน จึงสามารถใช้เป็นดัชนีการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้อีกทางหนึ่ง เช่น *Euglena* spp. และ *Oscillatoria* spp. สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง

หรือน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวกลุ่มเดสมิดส์ เช่น *Cosmarium* spp. หรือ *Staurastrum* spp.เจริญในน้ำที่มีสารอินทรีย์น้อยหรือน้ำที่มีคุณภาพดี

2.4.10 ด้านการใช้ไดอะตอมเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ การใช้ไดอะตอมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อปอดของศพที่จมน้ำก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งในงานนิติเวชศาสตร์เนื่องจากไดอะตอมไม่ย่อยสลายเพราะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ในกรณีนี้สามารถทราบได้ว่าศพเสียชีวิตจากการจมน้ำตายถ้าพบไดอะตอมในเนื้อเยื่อปอดจำนวนมาก ส่วนกรณีเสียชีวิตก่อนถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำจะไม่พบไดอะตอมเลย

2.4.11 ด้านการผลิตสารที่มีประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมหลายชนิด ปัจจุบันได้มีการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายมากขึ้น เช่น เอนไซม์บางชนิดมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม สารโพลิเมอร์และรงควัตถุจากสาหร่ายหลายชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถนำไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมด้านอาหาร เครื่องสำอาง และเวชภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ดี

2.5 น้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgal oil)

สาหร่ายขนาดเล็กมีลิปิดและกรดไขมันเป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์เมมเบรน บางชนิดมีน้ำมัน (bio-oil) เป็นอาหารสะสมเก็บไว้ที่ถุงที่หุ้มเยื่อหุ้มเซลล์ สาหร่ายไดอะตอม (diatom) และ cyanobacteria มีการสะสมลิปิดสูงมากกว่า 30% โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง และบางสายพันธุ์สะสมน้ำมันไว้มากกว่า 50% โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง (Danielo, 2005) โดยสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีการสะสมลิปิดต่างกัน เช่น *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgalis*, *Spirogyra* sp., *Euglena gracilis* และ *Spirulina maxima* มีสะสมลิปิด 16-40%, 14-22%, 11-21%, 14-20% และ 6-7% โดยน้ำหนักเซลล์แห้งตามลำดับ ดังตาราง 1 (Becker, 1994)

พบรายงานว่าน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella protothecoides*, *Microcystis aeruginosa* มีค่า saturated fraction ของ alkane ที่เหมือนกันกับน้ำมันดีเซล นอกจากนั้นยังมีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีค่าความร้อนสูงที่ 29 MJ/kg ความหนาแน่นที่ 1.16 kg/l (Miao *et al.*, 2004)

ตาราง 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่าง ๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%)

สายพันธุ์ของสาหร่าย	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	กรดนิวคลิอิค
Scenedesmus obliquus	50-56	10-17	12-14	3-6
Scenedesmus quadricauda	47	-	1.9	-
Scenedesmus dimorphus	8-18	21-52	16-40	-
Chlamydomonas rheinhardii	48	17	21	-
Chlorella vulgaris	51-58	12-17	14-22	4-5
Chlorella pyrenoidosa	57	26	2	-
Spirogyra sp.	6-20	33-64	11-21	-
Euglena gracilis	39-61	14-18	14-20	-
Prymnesium parvum	28-45	25-33	22-38	1-2
Tetraselmis maculata	52	15	3	-
Porphyridium cruentum	28-39	40-57	9-14	-
Spirulina platensis	46-63	8-14	4--9	2-5
Spirulina maxima	60-71	13-16	6-7	3-4.5
Synechoccus sp.	63	15	11	5
Anabaena cylindrica	43-56	25-30	4-7	-

ที่มา : Becker, (1994)

สาหร่ายขนาดเล็กที่มีรายงานการวิจัยว่ามีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งน้ำมันมีหลายชนิด ทั้งสาหร่ายน้ำจืดและสาหร่ายทะเล เช่น *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Spirulina platensis* สาหร่ายสีเขียวในสกุล *Chlorella* สาหร่ายกลุ่มไดอะตอม แต่ไดอะตอมมีความทนทานต่อการแปรผันของอุณหภูมิต่ำกว่าสาหร่ายสีเขียวสกุล *Chlorella* (Danielo, 2005) สาหร่ายขนาดเล็กสะสมลิปิดและกรดไขมันที่เซลล์เมมเบรนโดยเป็นแหล่งพลังงานสะสม ตาราง 2 แสดงปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด

ตาราง 2 ปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด

สาหร่ายขนาดเล็ก	**ปริมาณลิปิด (% โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง)**
Botryococcus braunii	25-75
Chlorella sp.	28-32
Dunaliella primolecta	23
Isochrysis sp.	25-33
Nannochloris sp.	20-35
Nannochloropsis sp.	31-68
Neochloris oleoabundans	35-54
Nitzschia sp.	45-47
Phaeodactylum tricornutum	20-30
Schizochytrium sp.	50-77
Tetraselmis sueica	15-23

ที่มา : Chisti, (2007)

การสะสมลิปิดในสาหร่ายเกิดขึ้นในช่วงที่สภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงมีความเครียด เช่น ภายใต้สภาวะที่ขาดแคลนไนโตรเจน โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือ acetyl-CoA carboxylase (ACCase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีไบโอตินเป็นส่วนประกอบ (biotin-containing enzyme) ทำหน้าที่ในการคะตะไลท์ในระยะเริ่มต้นของการสร้างกรดไขมัน (Ratledge, 2004) ไขมันหรือน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กมีคุณสมบัติเป็นไตรกลีเซอไรด์เช่นเดียวกันกับน้ำมันพืช โดยมีจำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 12-22 อะตอมต่อโมเลกุล ดังตาราง 3 (Chelf, 1990) แต่แตกต่างจากน้ำมันพืชตรงที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (polyunsaturated fatty acids : PUFAs) ซึ่งประกอบด้วยพันธะคู่ 4 คู่หรือมากกว่า (Belarbi *et al.*, 2000) ตัวอย่างเช่น eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n-3) ซึ่งมีพันธะคู่ 5 พันธะ และ docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n-3) ซึ่งมีพันธะคู่ 6 พันธะ กรดไขมันและเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl esters : FAME) ที่มีพันธะคู่ 4 คู่หรือมากกว่ามีความเป็นไปได้สูงในการออกซิเดชั่นในระหว่างการเก็บรักษาและเป็นสาเหตุหนึ่งในการลดการยอมรับในการใช้ไบโอดีเซลจากสาหร่าย น้ำมันพืชบางชนิดก็มีปัญหาเช่นเดียวกันนี้ ตัวอย่างเช่น น้ำมันจากเมล็ดแรพมีส่วนประกอบของกรดไขมันลิโนเลอิค (linoleic acid : C18:2n-6) ซึ่งมีพันธะคู่ 2 พันธะและกรดลิโนเลนิค (linolenic acid : C18:3n-3) ซึ่งมีพันธะคู่ 3 พันธะ อย่างไรก็ตามกรดไขมันทั้งสองชนิดนี้มีความเสถียรต่อการออกซิเดชั่นมากกว่า DHA และ EPA (Belarbi *et al.*, 2000; Ratledge, 2004)

ตาราง 3 ชนิดของกรดไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กบางสายพันธุ์เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอและขาดไนโตรเจน

สายพันธุ์สาหร่าย	**อาหารที่มีไนโตรเจนเพียงพอ**	**อาหารที่มีการจำกัดปริมาณไนโตรเจน**
Ankistrodesmus sp.	16:0, 16:4, 18:1, 18:3	16:0, 18:1, 18:3
Botryococcus braunii	16:0, 18:1, 18:2, 18:3	16:0, 18:1, 18:3, 20:5
Dunaliella salina	14:0/14:1, 16:0, 16:3, 16:4, 18:2, 18:3	16:0, 16:3, 18:1, 18:2, 18:3
Isochrysis sp.	14:0/14:1, 16:0, 16:1, 18:1, 18:3, 18:4, 22:6	14:0/14:1, 18:1, 18:2, 18:3, 18:4, 22:6

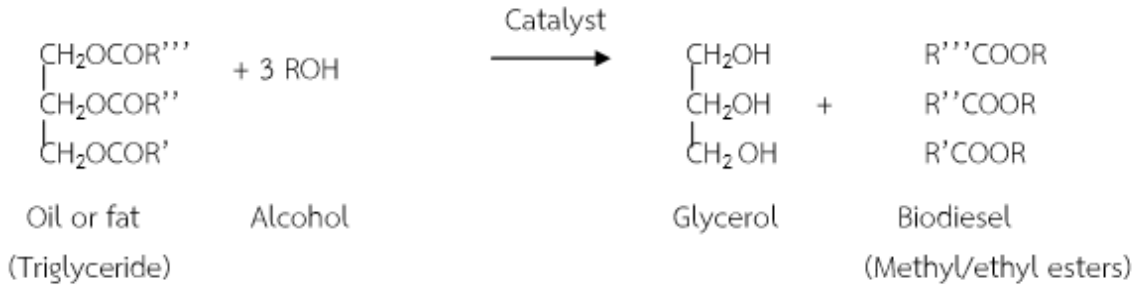
ที่มา : Chelf, (1990)

2.6 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพแหล่งพลังงานทดแทน (renewable energy) หรือเชื้อเพลิงทางเลือก (alternative energy) ที่มีคุณสมบัติในการเผาไหม้เหมือนกับดีเซลและไม่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศจึงเป็นเชื้อเพลิงที่ดีในการช่วยบรรเทาภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ดีราคาน้ำมันไบโอดีเซลในปัจจุบันยังคงสูงอันเนื่องมาจากราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ จึงมีนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชน้ำมันเพื่อลดต้นทุนของวัตถุดิบของการผลิตไบโอดีเซล แต่การปลูกพืชน้ำมันต้องการพื้นที่ในการเพาะปลูกสูง ด้วยเหตุนี้นักวิจัยของหลาย ๆ ประเทศจึงได้พุ่งความสนใจไปที่การใช้น้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กมากขึ้น ทั้งนี้เพราะข้อได้เปรียบของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กคือ ต้องการพื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อย เจริญเร็วและไม่ขึ้นกับฤดูกาล นอกจากนั้นยังสามารถเพาะเลี้ยงในอาหารแบบง่าย ๆ ในระดับการผลิตขนาดใหญ่ได้ (Sawayama *et al.,* 1999) การใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นพลังงานทดแทนทำได้โดยการนำไขมันหรือน้ำมันในเซลล์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (transesterification) หรือการใช้เซลล์สาหร่ายขนาดเล็กผสมโดยตรงกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล (Illman *et al.*, 2000)

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากไขมันสัตว์ น้ำมันจากเมล็ดพืชนำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันดังภาพประกอบ 1 โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่นเมทานอลหรือเอทานอลและมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริคภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนไขมัน หรือน้ำมันให้เป็นไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl

ester: FAME) หรือ เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester: FAEE) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้และมีกลีเซอรอลดิบ (crude glycerol) เป็นผลพลอยได้ นอกจากนั้นยังมีการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล



ภาพประกอบ 1 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ที่มา : Fukuda *et al.*, (2001)

ปัจจุบันการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในทางอุตสากรรมนั้นผลิตมาจากน้ำมันจากพืชและไขมันสัตว์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กที่ผ่านมานั้นนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง (Belarbi *et al.*, 2000) จากข้อมูลการวิจัยถ้าต้องการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กให้ได้ปริมาณร้อยละ 50 ของน้ำมันดีเซลที่ใช้ในระบบขนส่งของสหรัฐอเมริกา ต้องการพื้นที่ในการเลี้ยงสาหร่ายเพียงร้อยละ 1 ถึง 3 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการปลูกพืชน้ำมัน ดังตาราง 4 (Chisti, 2007) และตาราง 5 (Smith *et al.*, 2009)

ตาราง 4 เปรียบเทียบแหล่งที่มาของไบโอดีเซลในสหรัฐอเมริกา

แหล่งของน้ำมัน	**ผลผลิตน้ำมัน (ลิตร/ เฮกตาร์)**	**พื้นที่ที่ต้องการ (ล้านเฮกตาร์)[1]**	**ร้อยละของพื้นที่การเพาะปลูกในสหรัฐอเมริกา[1]**
สบู่ดำ	1892	140	77
มะพร้าว	2689	99	54
ปาล์มน้ำมัน	5950	45	24
สาหร่ายขนาดเล็ก[2]	136,900	2	1.1
สาหร่ายขนาดเล็ก[3]	58,700	4.5	2.5

[1]เพื่อใช้ในระบบขนส่งครึ่งหนึ่งสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ต้องการทั้งหมดในสหรัฐอเมริกา

[2]น้ำมันสาหร่ายร้อยละ 70 ของน้ำหนักเซลล์ (จากการทดลองในการผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง)

[3]น้ำมันสาหร่ายร้อยละ 30 ของน้ำหนักเซลล์ (จากการทดลองในการผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง)

ที่มา : Chisti, (2007)

ตาราง 5 เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลโดยประมาณของพืชต่าง ๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก

วัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล	**พื้นที่ที่ต้องการเพื่อผลิตน้ำมันให้เพียงพอต่อความต้องการทั้งหมดของโลก (10^6 hectare)**	**% พื้นที่ที่ต้องการเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของโลก**	**% พื้นที่ใช้เพาะปลูกได้ของพื้นที่ทั้งหมด**
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	5,100	34	258
เมล็ดแร็พ (rape seed)	4,100	27	207
สบู่ดำ	2,600	17	130
น้ำมันปาล์ม	820	5.5	41
สาหร่ายขนาดเล็ก (10 g/m^2/day, 30% TAG*)	410	2.7	21[a]
สาหร่ายขนาดเล็ก (50 g/m^2/day, 50% TAG*)	49	0.3	2.5[a]

*TAG= triacylglycerol หรือไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล, [a] = พื้นที่ในการสร้างบ่อหรือถังเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ที่มา : Smith *et al.*, (2009)

2.7 คุณภาพน้ำ

น้ำมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด คุณสมบัติของน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตมากที่สุดก็คือ น้ำบริสุทธิ์ สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารพิษเจือปน ในการบ่งชี้คุณภาพน้ำทำได้หลายวิธี ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2.7.1 การวัดอุณหภูมิน้ำ เป็นการวัดค่าความร้อนความเย็นของแหล่งน้ำ ซึ่งมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำ โดยมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทยกำหนดไว้ว่าอุณหภูมิของน้ำในแหล่งน้ำนั้น ไม่ควรมีค่ามากกว่าน้ำตามธรรมชาติ 3 องศาเซลเซียส

2.7.2 การวัดค่าความเป็นกรด-เบส สิ่งมีชีวิตสามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ในน้ำได้ในช่วงที่มีค่าความเป็นกรด-เบสจำกัดเท่านั้น ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของประเทศไทยกำหนดไว้ว่าควรมีค่าอยู่ในช่วง 5-9

2.7.3 การวัดค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าของแข็งละลายน้ำเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้า คุณสมบัตินี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิของน้ำ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่าสารในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าสารในน้ำลดลงนั่นเอง โดยปกติค่าการนำไฟฟ้าในแหล่งน้ำจืดประมาณ 150-300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ถ้าค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า1,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร อาจไม่เหมาะสำหรับการผลิตน้ำประปา เพราะเริ่มจะมีรสเค็ม

2.7.4 การวัดค่าความโปร่งใสของน้ำ เป็นการตรวจสอบการส่องผ่านของแสงในแหล่งน้ำ เนื่องจากมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและการละลายของออกซิเจน ความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวลดการส่องผ่านของแสงลงไปในแหล่งน้ำ โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืดได้กำหนดการตรวจวัดด้วยเซคิดิสก์เท่ากับ 30-60 เซนติเมตร

2.7.5 การสังเกตสีของน้ำ จะบ่งชี้สาเหตุที่ทำให้เกิดสีหรือบอกถึงสิ่งที่ละลายในน้ำได้ ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 สีและสาเหตุของการเกิดสีของน้ำ

สีปรากฏ	**สาเหตุที่ทำให้เกิดสี**
ไม่มีสี	ยังไม่ควรสรุปว่าน้ำสะอาดเพราะอาจมีสิ่งเจือปนอยู่
สีเขียว	แพลงก์ตอนพืช
สีเหลืองหรือสีน้ำตาลหรือสีชาใส	มีซากพืชย่อยสลาย
สีแดงหรือสีเหลืองหรือสีมะฮอกกานี	เป็นสีของสาหร่ายอีกจำพวกหนึ่ง (dinoflagellates)
สีน้ำตาลขุ่นหรือสีแดง	มีดินตะกอนเจือปนอาจเกิดจากการกัดเซาะหน้าดินหรือชายฝั่ง
สีรุ้ง	มีคราบน้ำมันที่ผิวหน้า
สีเทาหรือสีดำ	น้ำเน่าจากสิ่งปฏิกูล หรืออาจมีแร่ธาตุจากธรรมชาติเจือปน

2.7.6 การสังเกตกลิ่นของน้ำ บ่งบอกถึงสาเหตุมลพิษของน้ำได้อย่างคร่าว ๆ ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 กลิ่นของน้ำและสาเหตุมลพิษของน้ำ

ประเภทของกลิ่น	**ที่มาของกลิ่น**
กลิ่นหอม	กลิ่นผลไม้ กลิ่นกระเทียม กลิ่นแตงกวา กลิ่นน้ำหอม กลิ่นยาต่าง ๆ
กลิ่นต้นไม้	กลิ่นสาหร่าย กลิ่นหญ้า กลิ่นต้นไม้ กลิ่นแพลงก์ตอนต่าง ๆ
กลิ่นดินและกลิ่นเชื้อรา	กลิ่นดิน กลิ่นโคลน กลิ่นเชื้อราต่าง ๆ
กลิ่นคาว	กลิ่นคาวปลา กลิ่นน้ำมันตับปลา กลิ่นหอยต่าง ๆ
กลิ่นยา	กลิ่นฟีนอล กลิ่นน้ำมันทาร์ กลิ่นน้ำมัน กลิ่นไขมัน กลิ่นพาราฟิน กลิ่นคลอรีน กลิ่นไฮโดรเจนซัลไฟล์ กลิ่นคลอโรฟีนอล หรือกลิ่นผลิตภัณฑ์ยาต่าง ๆ
กลิ่นเน่า	กลิ่นของสดเน่า กลิ่นขยะ กลิ่นน้ำทิ้ง กลิ่นคอกหมู กลิ่นมูลสัตว์ต่าง ๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาหร่าย 3 สกุล ที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ในจังหวัดพะเยาและจังหวัดน่าน ได้แก่ ไซยาโนแบคทีเรีย *Microcystis* sp. สาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. และ *Spirogyra* sp. ได้ถูกเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพโดยการสกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สกัดได้พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบมากที่สุด 14.05±3.00 % (น้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง) รองลงมาคือ ไซยาโนแบคทีเรีย *Microcystis* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบ 13.35±3.00% และสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบน้อยที่สุดคือ 5.84±0.10% ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพของสาหร่ายที่พบได้ทั่วไปและมีปริมาณมากตามธรรมชาติในท้องถิ่นภาคเหนือของประเทศไทยที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของน้ำมันไบโอดีเซลได้ (อรพรรณ พรหมธนพันธ์ และรัฐภูมิ พรหมณะ, 2556)

การศึกษาเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่มีปริมาณไขมันสูง แบ่งเป็น 2 การทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำคือคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย 8 สายพันธุ์ด้วยวิธีย้อมสีไนล์เรดและนำสาหร่ายสายพันธุ์ที่คัดเลือกมาศึกษาการเจริญและการผลิตไขมันด้วยวิธีย้อมสีไนล์เรด พบว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 มีปริมาณไขมันมากที่สุดและเมื่อเลี้ยง *Ankistrodesmus* sp. W53 ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพในอาหารสตรู BG-11 ปริมาตร 15 ลิตร มีการให้อากาศและเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องให้แสงแบบต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 3,500 ลักซ์เป็นเวลา 25 วัน พบว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 สามารถผลิตไขมันสูงสุด ร้อยละ 26.09 ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณเซลล์และน้ำหนักเซลล์แห้ง $20.42X10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ 4.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับในวันที่ 14 ของการทดลอง สรุปได้ว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 สามารถผลิตไขมันสูงสุด ร้อยละ 26.09 ของน้ำหนักแห้งในวันที่ 14 ของการทดลอง ซึ่งบ่งชี้ว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 สามารถผลิตไขมันได้สูง และจะสามารถผลิตไขมันได้สูงขึ้นถ้าเลี้ยงในสภาวะที่เหมาะสม (วีนา ชูโชติ และคณะ, 2557)

การคัดแยกไขมันธรรมชาติจากสาหร่ายขนาดเล็กเป็นกุญแจสำคัญในการประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายขนาดเล็ก การย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก แต่มันไม่ประสบความสำเร็จในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีผนังเซลล์ที่หนาซึ่งจะป้องกันการซึมผ่านของสีย้อม วิธีการเดิมหนึ่งในตัวอย่างเรื่องของเวลาซึ่งใช้เวลานาน ในการศึกษานี้ใช้ตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) แนะนำให้ใช้กับกลุ่มตัวอย่างย้อมที่อุณหภูมิสูง ไขมันในเซลล์ได้รับการพิจารณาและตรวจสอบโดยใช้ 96-well plate บนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และปล่อยความยาวคลื่นที่ 575 นาโนเมตร ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพให้ผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (R = 0.998) ด้วยไตรโอเลอินมาตรฐานและค่าการวัด

ซ้ำ มีการประยุกต์และปรับปรุงวิธีการกับสาหร่ายสีเขียวสายพันธุ์อื่น ๆ ให้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมาก ซึ่งสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 8.5%, 3.9% และ 8.6%, 4.5% สำหรับการทดลองซ้ำและทำที่ความเข้มข้นสองระดับ (2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบและการหาปริมาณขีดจำกัดของการปรับปรุงวิธีการย้อมสีไนล์เรด คือ 0.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับไตรโอเลอินมาตรฐานตามลำดับ วิธีการที่ปรับปรุงกับแบบเดิมให้ผลที่คล้ายกัน (Chen *et al.*, 2009)

ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากสาหร่ายได้มีความสำคัญในการวิจัยไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอื่น ๆ การเรืองแสงของสีไนล์เรดเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (Held and Raymond, 2011)

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สีไนล์เรดจะมีลักษณะเรืองแสงเฉพาะในการย้อมหยดไขมัน ซึ่งใช้ในการตรวจสอบปริมาณไขมันโดยตรง การย้อมสีของสาหร่ายขนาดเล็กด้วยสีไนล์เรดจะสามารถมองเห็นการเรืองแสงภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ (กระตุ้น: 450-590 นาโนเมตร และการปล่อย: 520 นาโนเมตร) ความเข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์จะถูกวัดโดยฟลูออเรส-เซนต์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่การกระตุ้นและการปล่อยความยาวคลื่น 485 และ 590 ตามลำดับ การวิเคราะห์ความหนาแน่นของไขมันและการเรืองแสงโดยวิธีไมโครอิมัลชันที่มีการปล่อยและกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 540 และ 617 นาโนเมตร ปริมาณไขมันที่สกัดได้มีความสัมพันธ์กับการเรืองแสงของน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ การเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของเซลล์ที่ย้อม (การกระตุ้น: 485 นาโนเมตร และ 590 นาโนเมตร) การเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของไขมันที่สกัด (การกระตุ้น: 540 นาโนเมตร และ 617 นาโนเมตร) และความหนาแน่นของไขมันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง นี้แสดงให้เห็นว่าการย้อมด้วยสีไนล์เรดเป็นวิธีที่ค่อนข้างรวดเร็วในการตรวจสอบความหนาแน่นของไขมันในตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กและเป็นวิธีที่ดีในการตรวจสอบความหนาแน่นของไขมันและขจัดความเป็นพิษของสารละลายที่ต้องใช้ (Malapascua *et al.*, 2012)

การศึกษาสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus acutus* PPNK1 ที่แยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วและมีไขมันสูงสามารถตรวจสอบได้โดยการย้อมสีไนล์เรดซึ่งจะเรืองแสงสีเหลืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนต์ ที่น่าสนใจจำนวนเซลล์และชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 5.44×10^{7} เซลล์/มิลลิลิตร และ 1.60 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหาร BG-11 ที่ขาดแคลนไนโตรเจน (0.25 กรัม/ลิตร) มีการสะสมไขมันในเซลล์ 44.67% ซึ่งประสบความสำเร็จสูงกว่ากรณีเลี้ยงในอาหาร BG-11 สูตรทั่วไปประมาณสองเท่า คือ 22.63% (Rattanapoltee and Kaewkannetra, 2013)

วิธีการย้อมสีที่รวดเร็วในการตรวจสอบไขมันธรรมชาติโดยใช้โฟลไซโทเมทรีร่วมกับสีย้อมไนล์เรดถูกปรับให้เหมาะสม ซึ่งประสิทธิภาพของการย้อมได้รับการตรวจสอบโดยเปอร์เซ็นต์ความ

เข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสีไนล์เรดและไดเมทิล-ซัลฟอกไซด์ (DMSO) ด้วยระยะเวลาที่ทิ้งไว้ อุณหภูมิและค่า pH ที่แตกต่างกัน วิธีการที่พัฒนาขึ้นได้รับการตรวจสอบกับสาหร่ายขนาดเล็กสองชนิดคือ *Chlorella ellipsoidea* และ *Chlorococcum infusionum* ประสิทธิภาพการย้อมสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของสีไนล์เรด 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ DMSO 4% ทิ้งไว้ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับสาหร่ายทั้งสองชนิด (pH 6.5) ค่า FSC และ SSC ทั้งสองมิติแสดงการกระจายสูงสุดของเซลล์ที่มีไขมัน สัมประสิทธิ์ของความแปรผันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยและมัธยฐาน เป็นการพิจารณาค่าของไขมัน นอกจากนี้ได้ปรับปรุงวิธีการตรวจหาปริมาณไขมันในไนเตรต ($NaNO_3$) ในเซลล์ ซึ่งประสิทธิภาพของเทคนิคนี้เพิ่มขึ้น 3-4 เท่า ภาพจากกล้องคอนโฟคอนแสดงให้เห็นระดับของไขมันที่สูงในการตรวจสอบเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก (Satpati and Pal, 2014)

ในภาวะโลกร้อนและการสูญเสียเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างรวดเร็ว กลับพบว่าสาหร่ายมีแนวโน้มในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอย่างยั่งยืน การย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีการที่สามารถตรวจสอบปริมาณไขมันได้อย่างรวดเร็วเพื่อนำไปแปรสภาพเป็นไบโอดีเซล มีความจำเป็นในการพัฒนาขั้นตอนการย้อมสี ในขั้นตอนแรกของการศึกษานี้ทำการศึกษาการเรืองแสงของสีไนล์เรดในสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ประสบความสำเร็จมีค่าฟังชั่นคอมโพสิตของตัวแปร (r2 = 0.86) การวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความเข้มจากการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสีไนล์เรด ในขั้นตอนที่สองทำการทบทวนงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าสีไนล์เรดจะมีกลไกพื้นฐานในการแพร่กระจายโมเลกุลบนเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก และจะทำปฏิกิริยากับไขมันภายในเซลล์ จากกระบวนการนี้จึงสามารถพัฒนากรอบการทำงานเพื่อเป็นแนวทางมาตรฐานในการย้อมสีไนล์เรดเพื่อพิจารณาความแตกต่างของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิด (Halim and Webley, 2015)

การใช้สีย้อมไนล์เรดเป็นวิธีการที่รวดเร็วในการตรวจสอบปริมาณของนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากนิวทรัลลิปิดเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ในการทบทวนงานวิจัยนี้ได้พิจารณาหลักการที่จำเป็นน่าเชื่อถือของวิธีการย้อมสีไนล์เรดสำหรับการตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก การเพิ่มการซึมผ่านผนังเซลล์โดยใช้ DMSO (5% ปริมาตรต่อปริมาตร–25% ปริมาตรต่อปริมาตร) กลีเซอรอล (0.1–0.125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) หรือ EDTA (3.0–3.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) อุณหภูมิระหว่าง 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยในการแพร่กระจายของสีไนล์เรดผ่านผนังเซลล์ ปฏิกิริยาระหว่างสีไนล์เรดกับลิปิดที่ดีต้องใช้สีไนล์เรดปริมาณน้อยต่ออัตราส่วนของเซลล์ ความเข้มข้นของไนล์เรดอยู่ระหว่าง 0.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของเซลล์มากกว่า 5x104 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เพื่อให้ค่าของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของไนล์เรดสูงสุด มีความจำเป็นในการกระตุ้นและปล่อยความยาวคลื่นได้ถึง 40 นาทีสำหรับเวลาในการบ่ม

สรุปได้ 5 ขั้นตอนสำคัญสำหรับวิธีการย้อมด้วยสีไนล์เรด 1) ประเมินความเหมาะสมของสายพันธุ์ในการตรวจสอบนิวทรัลลิปิด 2) เลือกความยาวคลื่นที่ดีที่สุดในการกระตุ้นและปล่อย 3) ความเหมาะสมของระยะเวลาในการบ่ม ลักษณะของคราบลิปิด ความเข้มข้นของสีย้อมและอุณหภูมิ 4) ทำการเพาะเลี้ยงแยกสายพันธุ์เดี่ยว ๆ ในการเพาะเลี้ยงเพื่อเทียบปริมาณลิปิดจากการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสีไนล์เรด และ 5) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์กับปริมาณนิวทรัลลิปิดในสายพันธุ์เดียวกัน ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยให้การตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็กทำได้รวดเร็วและน่าเชื่อถือ (Alemán-Nava GS *et al.*, 2016)

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

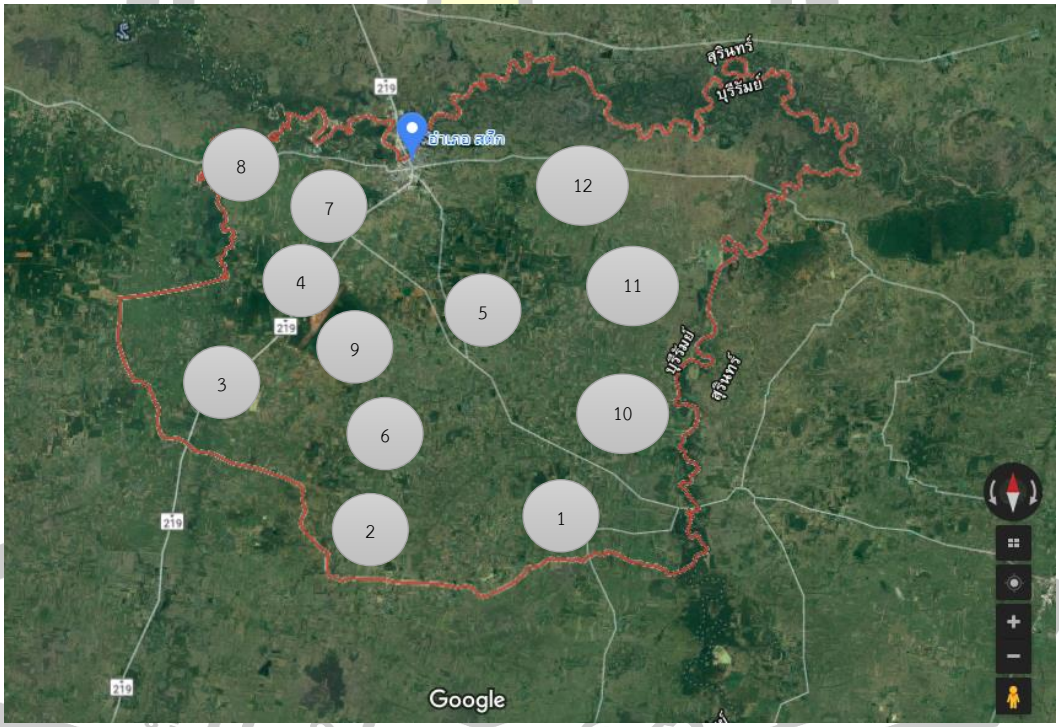
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก

3.1.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก

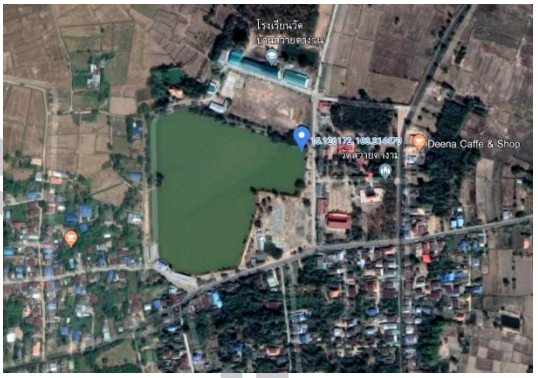
ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อวิเคราะห์ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมัน เลือกวิธีเก็บตัวอย่างแบบสุ่มครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 12 จุดได้แก่ ตำบลนิคม 3 จุด ตำบลสตึก 2 จุด ส่วนตำบลชุมแสง ตำบลหนองใหญ่ ตำบลร่อนทอง ตำบลเมืองแก ตำบลกระสัง ตำบลทุ่งวัง และตำบลสะแก ตำบลละ 1 จุด ดังภาพประกอบ 2 และภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

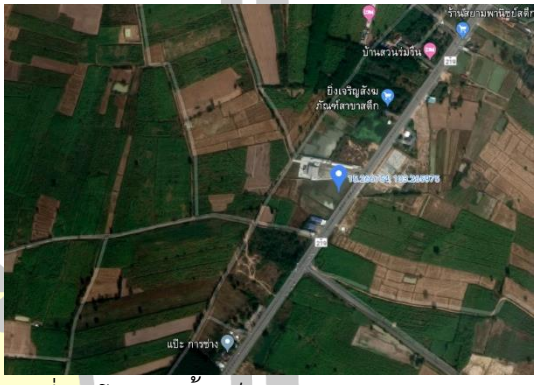
ที่มา : https://www.google.co.th/maps/

จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง
พิกัด 15.119604, 103.347739



จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่
พิกัด 15.126172, 103.314470

จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง
พิกัด 15.179044, 103.263102

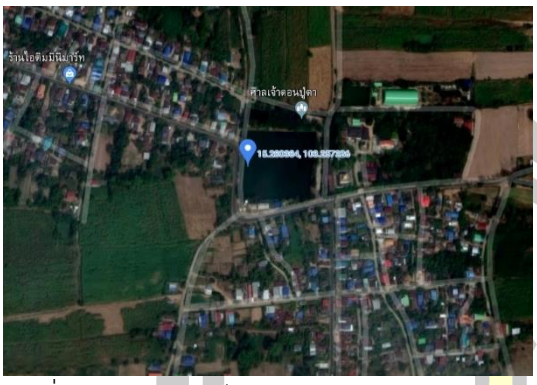


จุดที่ 4) โรงงานน้ำแข็ง ตำบลนิคม
พิกัด 15.266754, 103.265975

จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก
พิกัด 15.275929, 103.309685

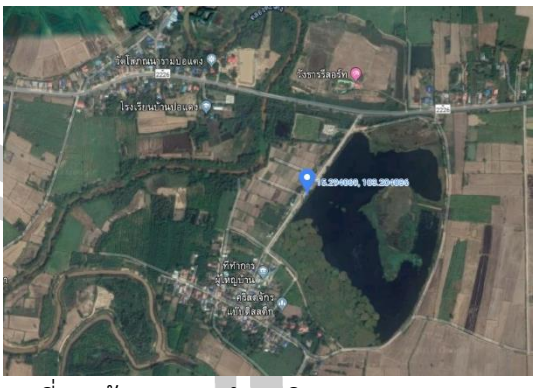
จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก
พิกัด 15.172970, 103.319973

ภาพประกอบ 3 พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 12 จุด
ที่มา : https://www.google.co.th/maps/



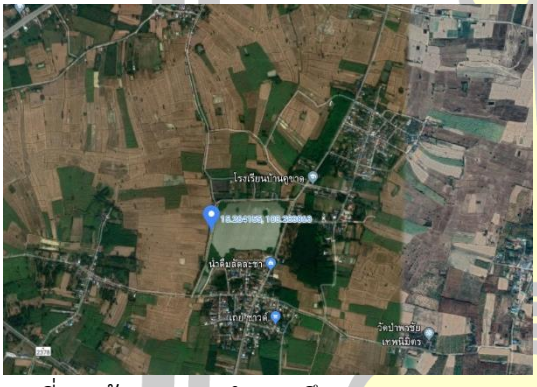
จุดที่ 7) บ้านสระกอไทร ตำบลนิคม

พิกัด 15.280384, 103.257326



จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม

พิกัด 15.294069, 103.204086

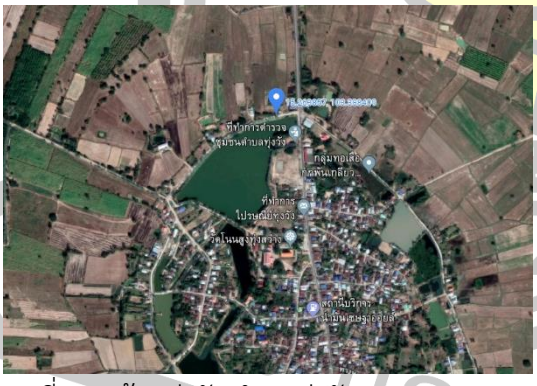


จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก

พิกัด 15.264155, 103.283863

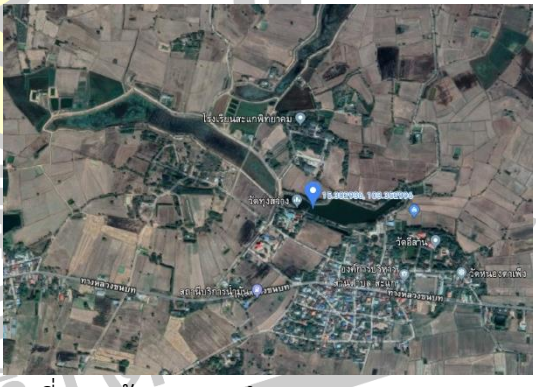
จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง

พิกัด 15.214932, 103.413609



จุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง

พิกัด 15.263857, 103.388409



จุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก

พิกัด 15.302936, 103.352996

ภาพประกอบ 3 พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 12 จุด (ต่อ)

ที่มา : https://www.google.co.th/maps/

ขั้นตอนวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บสาหร่ายขนาดเล็ก ดังนี้

1) ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ การวัดอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความโปร่งใสของน้ำ สี กลิ่น และพืชน้ำที่พบ

2) ทำการเก็บตัวอย่างโดยลากถุงลากแพลงก์ตอนตาข่ายขนาดความถี่ 10 ไมโครเมตร ในแนวเฉียงจากระดับความลึกจากผิวน้ำ 50 เซนติเมตร จากนั้นเทตัวอย่างลงในขวดพลาสติกเพื่อนำไปตรวจสอบชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก รวมทั้งหมด 12 จุด อย่างละ 3 ซ้ำ ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2560 เวลาในการเก็บตัวอย่าง 08.00 น.-12.00 น.

3.1.2 การตรวจสอบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก

ทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของสาหร่ายขนาดเล็ก โดยเตรียมสไลด์สดศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์และบันทึกภาพ เพื่อจัดจำแนกชนิดตามวิธีของ ยุวดี พีรพรพิศาล (2556), ลัดดา วงศ์รัตน์ (2542), Graham *et al.* (2009) และ Bold and Wynne (1985)

3.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

ในการศึกษานี้ทำการคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมัน ซึ่งได้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนการตรวจสอบการผลิตน้ำมันโดยวิธีไนล์เรดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กมาจำนวน 3 ชนิดจากทั้งหมด ได้แก่ *Botryococcus braunii* Kützing, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Chlorella* sp. มีขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

3.2.1 คัดแยกสาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการล้างเซลล์ด้วยไมโครปิเปต (micropipette washing) ตามวิธีของลัดดา วงรัตน์ (2540) จนกระทั่งได้เซลล์เดี่ยว ๆ

3.2.2 นำไปเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร BG-11 นาน 45 วันแล้วนำไปตรวจสอบการผลิตน้ำมัน

3.2.3 ตรวจสอบน้ำมันในเซลล์ด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (ดัดแปลงจาก Chen *et al.*, 2009) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การเตรียมสารละลายไนล์เรด

ชั่งสารไนล์เรดปริมาณ 1 มิลลิกรัม ผสมลงในตัวทำละลายอะซีโตน (acetone) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

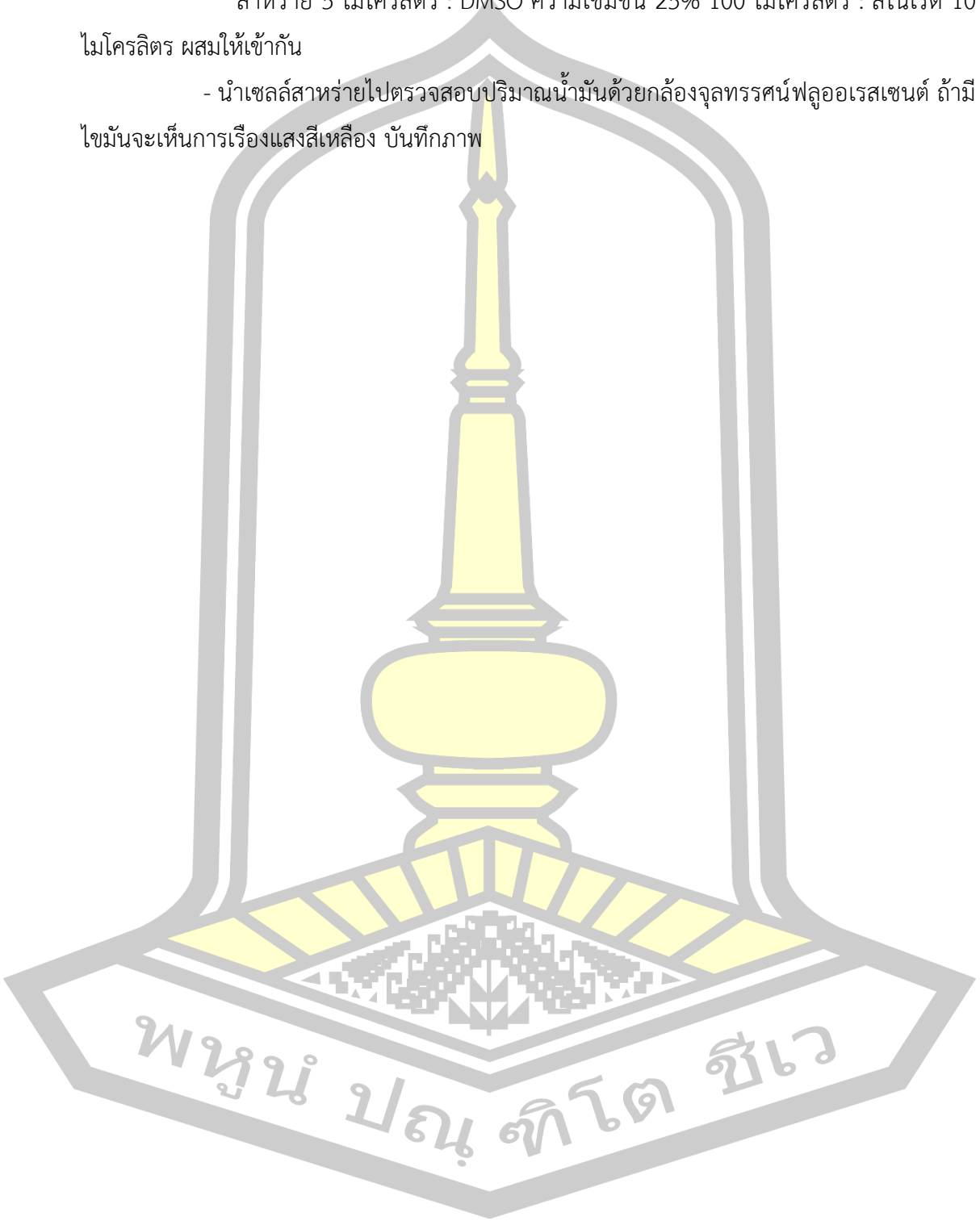
- การเตรียม DMSO (dimethyl sulfoxide) ความเข้มข้น 25%

นำ DMSO ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 75 มิลลิลิตร

- การเตรียมสาหร่ายในการย้อมสีไนล์เรด ตามอัตราส่วนดังนี้

สาหร่าย 5 ไมโครลิตร : DMSO ความเข้มข้น 25% 100 ไมโครลิตร : สีไนเรด 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน

- นำเซลล์สาหร่ายไปตรวจสอบปริมาณน้ำมันด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ ถ้ามีไขมันจะเห็นการเรืองแสงสีเหลือง บันทึกภาพ



บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก

4.1.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก

ในการศึกษานี้ได้ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ การวัดอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ค่าของแข็งละลายน้ำ ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความโปร่งใสของน้ำ สี กลิ่น และพืชน้ำที่พบ ดังตาราง 8

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 12 จุดได้แก่ ตำบลนิคม 3 จุด ตำบลสตึก 2 จุด ส่วนตำบลชุมแสง ตำบลหนองใหญ่ ตำบลร่อนทอง ตำบลเมืองแก ตำบลกระสัง ตำบลทุ่งวัง และตำบลสะแก ตำบลละ 1 จุด จากการวัดอุณหภูมิของน้ำพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส โดยจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดที่ 5 ต่ำสุดคือจุดที่ 10 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6-7 โดยจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดที่ 2, 6, 7 และ 8 ต่ำสุดคือจุดที่ 1, 3, 4, 5, 9, 10, 11 และ 12 ค่าของแข็งละลายน้ำพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 51-787 ส่วนในล้านส่วน โดยจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดที่ 4 ต่ำสุดคือจุดที่ 9 ค่าความนำไฟฟ้าพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 103-1,577 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดที่ 4 ต่ำสุดคือจุดที่ 9 ค่าความโปร่งใสของน้ำพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 18-78 เซนติเมตร โดยจุดที่มีค่าสูงสุดคือจุดที่ 5 ต่ำสุดคือจุดที่ 10 สีและกลิ่นของน้ำพบว่าในแต่ละจุดมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยจุดที่น้ำใสไม่มีสีไม่มีกลิ่น ได้แก่จุดที่ 1, 3, 5, 8, 11 และ 12 ขุ่นเล็กน้อยไม่มีกลิ่นได้แก่ จุดที่ 6 ขุ่นดำเล็กน้อยมีกลิ่นเล็กน้อย ได้แก่ จุดที่ 2 ขุ่นสีน้ำตาลมีกลิ่นเล็กน้อย ได้แก่ จุดที่ 10 ขุ่นสีเขียวเข้มมีกลิ่น ได้แก่ จุดที่ 9 ขุ่นสีน้ำตาลมีกลิ่น ได้แก่ จุดที่ 7 ขุ่นสีดำมีกลิ่น ได้แก่ จุดที่ 4 พืชน้ำส่วนใหญ่พบจำพวกผักบุ้ง ได้แก่จุดที่ 1, 4, 10 และ 12 รองลงมาคือผักกระเฉด ได้แก่จุดที่ 1 และ 10 บัว ได้แก่จุดที่ 3 และ 12 ผักตบชวา ได้แก่จุดที่ 8 ตามลำดับ ส่วนจุดที่ไม่พบพืชน้ำ ได้แก่จุดที่ 2, 5, 6, 7, 9 และ 11

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง 8 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของน้ำบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	parameters						
	temp. (ºC)	pH	Total Dissolve Solid (ppm)	conductivity (µS/cm)	transparency (cm)	สี/กลิ่นของน้ำ	พืชน้ำ
จุดที่ 1	25	6	129	258	52	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	ผักบุ้ง ผักกระเฉด
จุดที่ 2	25	7	130	259	46	ขุ่นดำเล็กน้อย/มีกลิ่นเล็กน้อย	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 3	25	6	80	159	60	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	บัว
จุดที่ 4	26	6	787	1,577	30	ขุ่นสีดำ/มีกลิ่น	ผักบุ้ง
จุดที่ 5	27	6	95	192	78	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 6	25	7	75	150	39	ขุ่นเล็กน้อย/ไม่มีกลิ่น	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 7	26	7	142	284	45	ขุ่นสีน้ำตาล/มีกลิ่น	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 8	26	7	113	227	58	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	ผักตบชวา
จุดที่ 9	25	6	51	103	27	ขุ่นสีเขียวเข้ม/มีกลิ่น	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 10	24	6	188	377	18	ขุ่นสีน้ำตาล/มีกลิ่นเล็กน้อย	ผักบุ้ง ผักกระเฉด
จุดที่ 11	25	6	87	174	72	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	ไม่พบพืชน้ำ
จุดที่ 12	25	6	538	1,079	70	ใสไม่มีสี/ไม่มีกลิ่น	ผักบุ้ง บัว

4.1.2 การตรวจสอบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก

จากการสำรวจความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยการเก็บตัวอย่างด้วยถุงลากแพลงก์ตอนตาข่ายความถี่ 10 ไมโครเมตร ทั้งหมด 12 จุด ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ผลการสำรวจพบสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมดแสดงในตาราง 9 ดังนี้

ตาราง 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

จุดเก็บตัวอย่าง	**สกุล**	**ชนิด**
จุดที่ 1	*Aulacoseira*	*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
	kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*
	Phacus	*Phacus acuminatus* Stokes
	Trachelomonas	*Trachelomonas superba* Swirenko emend. Deflandre
จุดที่ 2	*Coelomoron*	*Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek
	Kirchneriella	*Kirchneriella* sp.
	Merismopedia	*Merismopedia* sp.
		Merismopedia punctata Meyen
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile* (West et West) Komárková-Legnerová
	Navicula	*Navicula* sp.
	Spirulina	*Spirulina* sp.
จุดที่ 3	*Botryococcus*	*Botryococcus* sp.1
		Botryococcus braunii Kützing
	Calothrix	*Calothrix* sp.
	Euglena	*Euglena ehrengergii* Klebs
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*
	Planktolyngbya	*Planktolyngbya limnetica*
	Spirogyra	*Spirogyra* sp.
จุดที่ 4	*Closterium*	*Closterium gracile*
	Navicula	*Navicula* sp.
	Trachelomonas	*Trachelomonas volvocina* Ehrenberg
จุดที่ 5	*Kirchneriella*	*Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius
	Microcystis	*Microcystis aeruginosa* Kützing
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Phacus	*Phacus lismorensis* Playfair

ตาราง 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
	Pediastrum	*Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West
		Pediastrum duplex var. *reticulatum* Lagerheim
	Scenedesmus	*Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat
		Scenedesmus quadrispina
จุดที่ 6	*Lepocinclis*	*Lepocinclis acus* (O.F. Muller) Marin & Melkonian
	Microcystis	*Microcystis aeruginosa* Kützing
	Navicula	*Navicula lanceolata*
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Pandorina	*Pandorina* sp.
	Phacus	*Phacus acuminatus* Stokes
จุดที่ 7	*Botryococcus*	*Botryococcus braunii* Kützing
จุดที่ 8	*Anabaena*	*Anabaena* sp.
	Botryococcus	*Botryococcus braunii* Kützing
	Cosmarium	*Cosmarium contractum* Kirchner var. *contractum*
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.
	Closterium	*Closterium ehrenbergii*
	Hyalotheca	*Hyalotheca dissiliens* Brébisson ex Ralfs var. *dissiliens*
	Micrasterias	*Micrasterias foliacea* Bailey
		Micrasterias mahabuleshwarensis
	Onychonema	*Onychonema laeve* Nordstedt
	Phacus	*Phacus helikoides* Pochmann
	Pleurotaenium	*Pleurotaenium* sp.
	Spondylosium	*Spondylosium panduriforme*
		Spondylosium planum
	Staurastrum	*Staurastrum anatinum*
		Staurastrum margaritaceum
	Staurodesmus	*Staurodesmus convergens* Teiling var. *convergens*
	Synedra	*Synedra* sp.
	Tetraedron	*Tetraedron incus* Smith
จุดที่ 9	*Anabaena*	*Anabaena variabilis*
	Aulacoseira	*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
	Brachysira	*Brachysira neoacutas* Lange-Bertalot

ตาราง 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
	Diatoma	*Diatoma* sp.2
	Dictyosphaerium	*Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz
	Oscillatoria	*Oscillatoria princeps*
	Sphaerozosma	*Sphaerozosma aubertianum*
	Volvox	*Volvox* sp.3
จุดที่ 10	*Aulacoseira*	*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
	Centritractus	*Centritractus belanophorus* Lemmermann
	Chlorella	*Chlorella* sp.
	Diatoma	*Diatoma vulgaris*
	Dictyosphaerium	*Dictyosphaerium* sp.
	Euglena	*Euglena deses* Ehrenberg
	Gomphonema	*Gomphonema lateropunctata*
	Lepocinclis	*Lepocinclis salina* Fritsch
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.
	Stauronesis	*Stauronesis* sp.
	Trachelomonas	*Trachelomonas hispida* (Perty) Stein
		Trachelomonas volvocinopsis Swirenko
จุดที่ 11	*Closterium*	*Closterium attenuatum*
	Eudorina	*Eudorina* sp.
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.
	Microcystis	*Microcystis aeruginosa* Kützing
	Pediastrum	*Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West
จุดที่ 12	*Botryococcus*	*Botryococcus braunii* Kützing
	Cladophora	*Cladophora* sp.
	Closterium	*Closterium acutum*
	Cylindrospermopsis	*Cylindrospermopsis raciborskii*
	Merismopedia	*Merismopedia* sp.
	Microcystis	*Microcystis aeruginosa* Kützing
	Nitzschia	*Nitzschia improvisa*
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Spirogyra	*Spirogyra* sp.
		Spirogyra neglecta (Hassall) Kützing

ผลจากการสำรวจจุดที่พบสาหร่ายขนาดเล็กมากที่สุดคือ จุดที่ 8 จำนวน 18 ชนิด รองลงมาคือจุดที่ 10, 12, 5, 9, 2, 3, 6, 11, 1, 4 และ 7 จำนวน 12, 10, 8, 8, 7, 7, 6, 5, 4, 3 และ 1 ชนิด ตามลำดับ

ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าสามารถจำแนกได้ทั้งหมด 5 ดิวิชัน (division) 22 วงศ์ (family) 47 สกุล (genus) 74 ชนิด (species) ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

ดิวิชัน	**วงศ์**	**สกุล**	**ชนิด**
Cyanophyta	Chroococcaceae	*Microcystis*	*Microcystis aeruginosa* Kützing
	Merismopediaceae	*Coelomoron*	*Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek
		Merismopedia	*Merismopedia* sp.
			Merismopedia punctata Meyen
	Nostocaceae	*Anabaena*	*Anabaena* sp.
			Anabaena variabilis
		Cylindrospermopsis	*Cylindrospermopsis raciborskii*
	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	*Oscillatoria* sp.
			Oscillatoria princeps
		Planktolyngbya	*Planktolyngbya limnetica*
	Oscillatoriales	*Spirulina*	*Spirulina* sp.
	Rivulariaceae	*Calothrix*	*Calothrix* sp.
Bacillariophyta	Bacillariaceae	*Nitzschia*	*Nitzschia improvisa*
	Brachysiraceae	*Brachysira*	*Brachysira neoacutas* Lange-Bertalot
	Fragilariaceae	*Diatoma*	*Diatoma* sp.2
			Diatoma vulgaris
		Synedra	*Synedra* sp.
	Melosiraceae	*Aulacoseira*	*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen
	Naviculaceae	*Gomphonema*	*Gomphonema lateropunctata*
		Navicula	*Navicula* sp.
			Navicula lanceolata

ตาราง 10 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
		Pinnularia	*Pinnularia* sp.
		Stauronesis	*Stauronesis* sp.
Euglenophyta	Euglenaceae	*Euglena*	*Euglena deses* Ehrenberg
			Euglena ehrengergii Klebs
		Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.
			Lepocinclis acus
			Lepocinclis acus (O.F. Muller) Marin & Melkonian
			Lepocinclis salina Fritsch
		Phacus	*Phacus acuminatus* Stokes
			Phacus helikoides Pochmann
			Phacus lismorensis Playfair
		Trachelomonas	*Trachelomonas hispida* (Perty) Stein
			Trachelomonas superba Swirenko emend. Deflandre
			Trachelomonas volvocina Ehrenberg
			Trachelomonas volvocinopsis Swirenko
Chlorophyta	Botryococcaceae	*Botryococcus*	*Botryococcus* sp.1
			Botryococcus braunii Kützing
	Chlorellaceae	*Chlorella*	*Chlorella* sp.
		Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.
		Dictyosphaerium	*Dictyosphaerium* sp.
			Dictyosphaerium tetrachotomum Printz
	Cladophoraceae	*Cladophora*	*Cladophora* sp.
	Desmidiaceae	*Closterium*	*Closterium acutum*
			Closterium attenuatum
			Closterium ehrenbergii
			Closterium gracile

ตาราง 10 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
		Cosmarium	*Cosmarium contractum* Kirchner var. *contractum*
		Hyalotheca	*Hyalotheca dissiliens* Brébisson ex Ralfs var. *dissiliens*
		Micrasterias	*Micrasterias foliacea* Bailey
			Micrasterias mahabuleshwarensis
		Onychonema	*Onychonema laeve* Nordstedt
		Pleurotaenium	*Pleurotaenium* sp.
		Sphaerozosma	*Sphaerozosma aubertianum*
		Spondylosium	*Spondylosium panduriforme*
			Spondylosium planum
		Staurastrum	*Staurastrum anatinum*
			Staurastrum margaritaceum
		Staurodesmus	*Staurodesmus convergens* Teiling var. *convergens*
	Hydrodictyceae	*Pediastrum*	*Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West
			Pediastrum duplex var. *reticulatum* Lagerheim
		Tetraedron	*Tetraedron incus* Smith
	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	*Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat
			Scenedesmus quadrispina
	Selenastraceae	*kirchneriella*	*Kirchneriella* sp.
			Kirchneriella lunaris
			Kirchneriella lunaris (Kirchner) Möbius
		Monoraphidium	*Monoraphidium tortile* (West et West) Komárková-Legnerová
	Volvocaceae	*Eudorina*	*Eudorina* sp.
		Pandorina	*Pandorina* sp.

ตาราง 10 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
		Volvox	*Volvox* sp.3
	Zygnemataceae	*Spirogyra*	*Spirogyra* sp.
			Spirogyra neglecta (Hassall) Kützing
Chrysophyta	Centritractaceae	*Centritractus*	*Centritractus belanophorus* Lemmermann

จากข้อมูลพบสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด จำนวน 37 ชนิด (คิดเป็น 50.00% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด) รองลงมาคือ ดิวิชัน Euglenophyta จำนวน 13 ชนิด (คิดเป็น 17.57% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด), Cyanophyta จำนวน 12 ชนิด (คิดเป็น 16.22% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด), Bacillariophyta จำนวน 11 ชนิด (คิดเป็น 14.86% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด) และดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 1 ชนิด (คิดเป็น 1.35% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด) ตามลำดับ

ผลจากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ ที่พบทั้งหมด 5 ดิวิชัน (division) 22 วงศ์ (family) 47 สกุล (genus) 74 ชนิด (species) มีรายละเอียดของลักษณะสาหร่ายแสดงเป็นภาพประกอบแต่ละวงศ์ดังนี้

4.1.2.1 ดิวิชัน Cyanophyta

4.1.2.1.1 วงศ์ Chroococcaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Microcystis* แหล่งที่พบ จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก จุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 4A

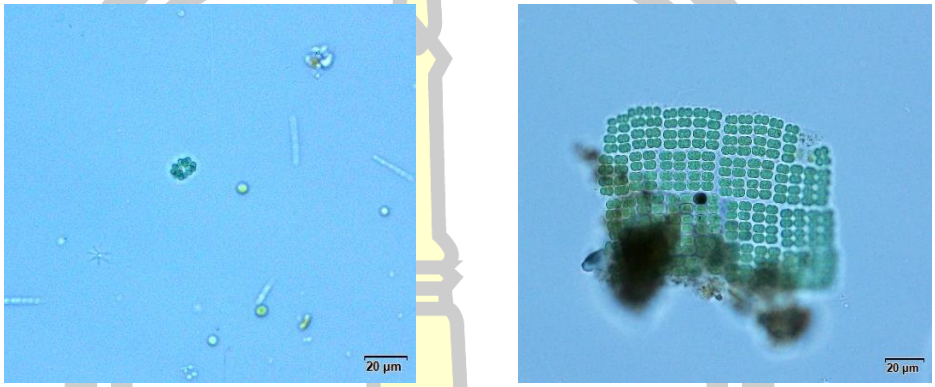
A) *Microcystis aeruginosa* Kützing

ภาพประกอบ 4 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chroococcaceae

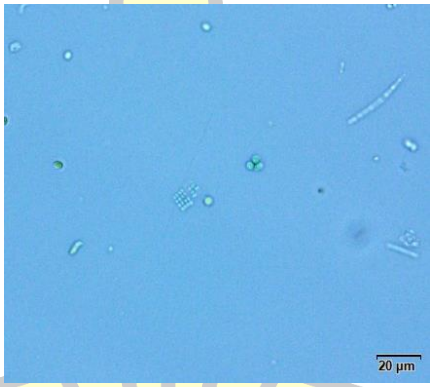
4.1.2.1.2 วงศ์ Merismopediaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Coelomoron* แหล่งที่พบ จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ ดังภาพประกอบ 5A

สกุล *Merismopedia* แหล่งที่พบ จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 5B และ 5C



A) *Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek, B) *Merismopedia* sp.



C) *Merismopedia punctata* Meyen

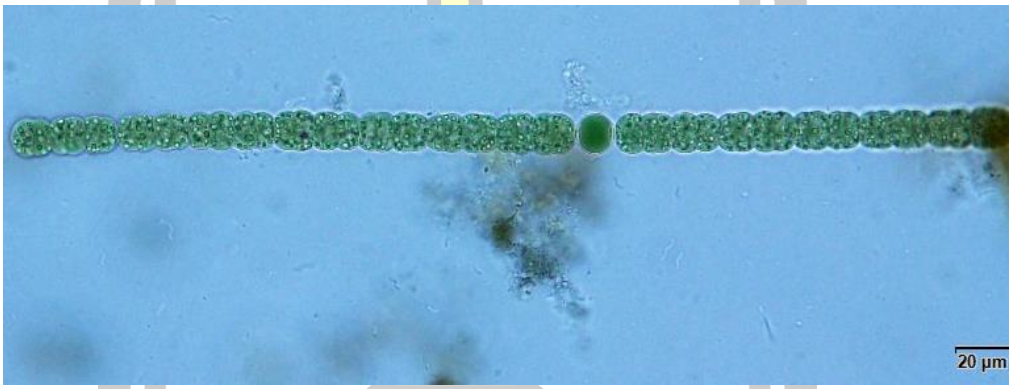
ภาพประกอบ 5 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Merismopediaceae

4.1.2.1.3 วงศ์ Nostocaceae สกุลที่พบมีดังนี้

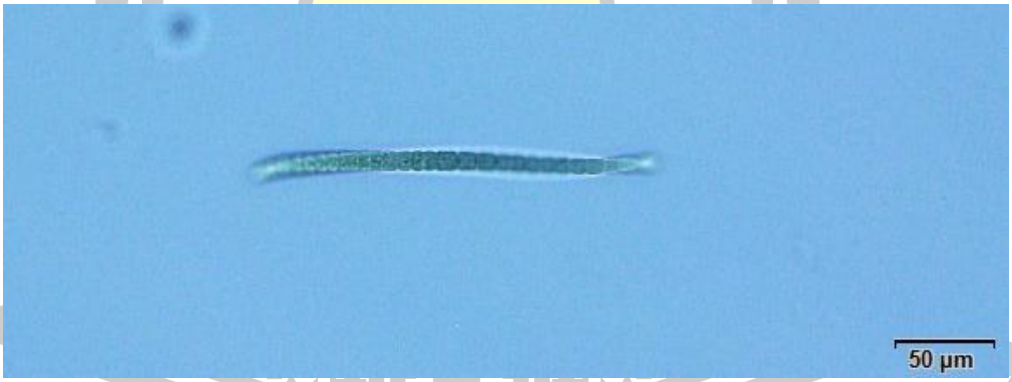
สกุล *Anabaena* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม และจุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 6A และ 6B

สกุล *Cylindrospermopsis* แหล่งที่พบ จุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 6C

A) *Anabaena* sp.



B) *Anabaena variabilis*



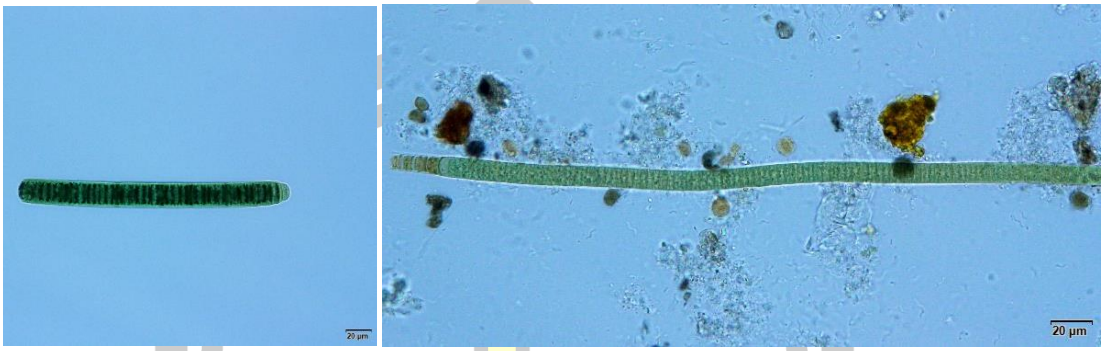
C) *Cylindrospermopsis raciborskii*

ภาพประกอบ 6 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Nostocaceae

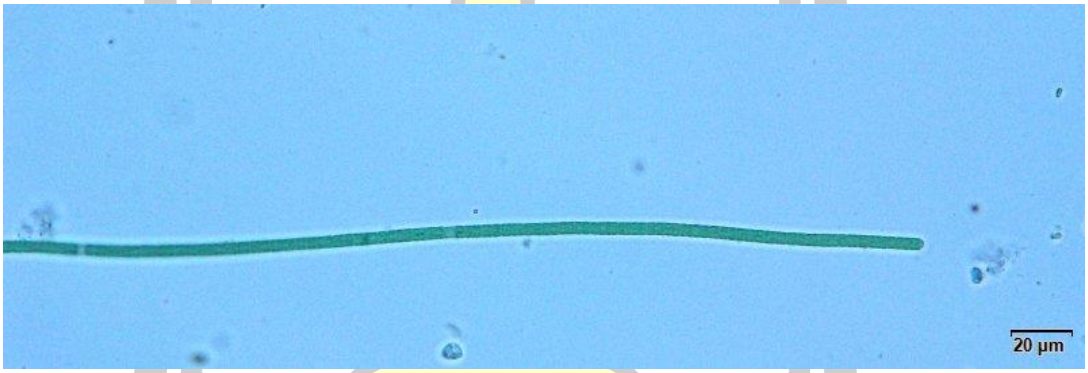
4.1.2.1.4 วงศ์ Oscillatoriaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Oscillatoria* แหล่งที่พบ จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 7A และ 7B

สกุล *Planktolyngbya* แหล่งที่พบ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง ดังภาพประกอบ 7C



A) *Oscillatoria* sp. B) *Oscillatoria princeps*

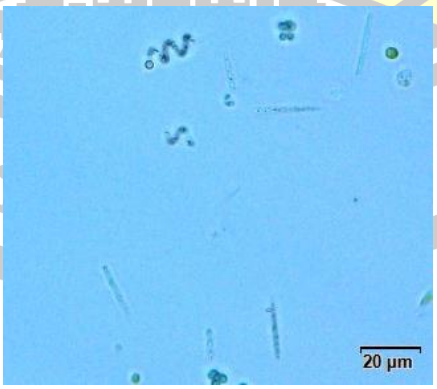


C) *Planktolyngbya limnetica*

ภาพประกอบ 7 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriaceae

4.1.2.1.5 วงศ์ Oscillatoriales สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Spirulina* แหล่งที่พบ จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ ดังภาพประกอบ 8A



A) *Spirulina* sp.

ภาพประกอบ 8 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriales

4.1.2.1.6 วงศ์ Rivulariaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Calothrix* แหล่งที่พบ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง ดังภาพประกอบ 9A

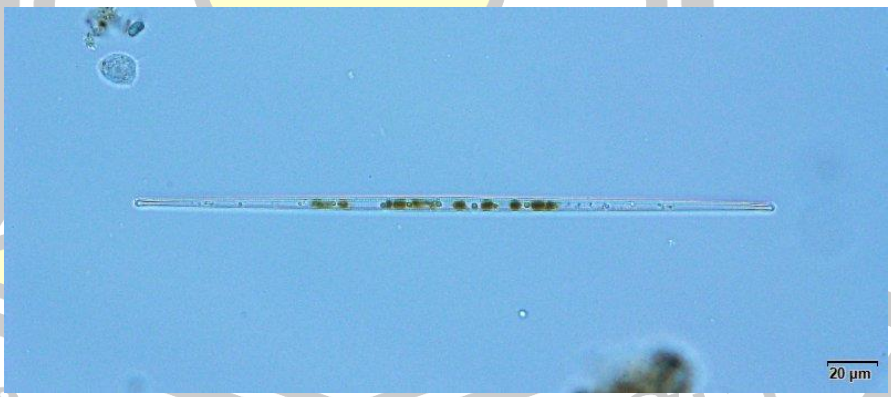
A) *Calothrix* sp.

ภาพประกอบ 9 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Rivulariaceae

4.1.2.2 ดิวิชัน Bacillariophyta

4.1.2.2.1 วงศ์ Bacillariaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Nitzschia* แหล่งที่พบ จุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 10A



A) *Nitzschia improvisa*

ภาพประกอบ 10 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Bacillariaceae

:

4.1.2.2.2 วงศ์ Brachysiraceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Brachysira* แหล่งที่พบ จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 11A

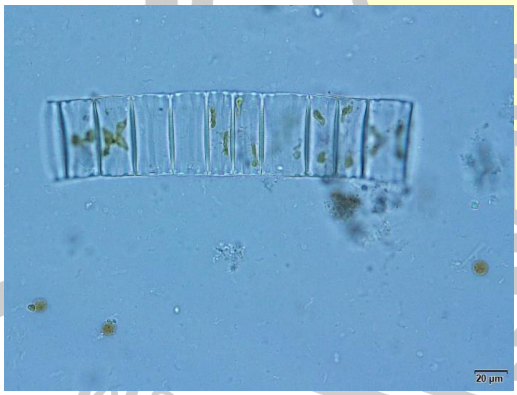
A) *Brachysira neoacutas* Lange-Bertalot

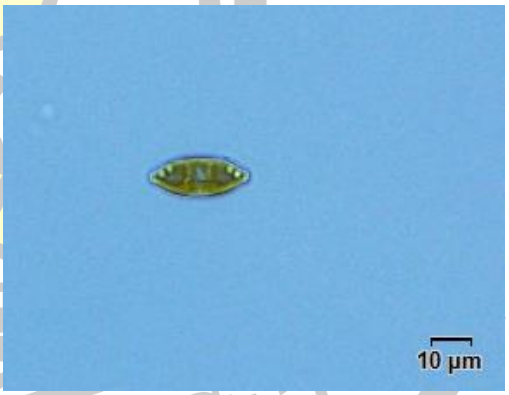
ภาพประกอบ 11 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Brachysiraceae

4.1.2.2.3 วงศ์ Fragilariaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Diatoma* แหล่งที่พบ จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 12A และ 12B

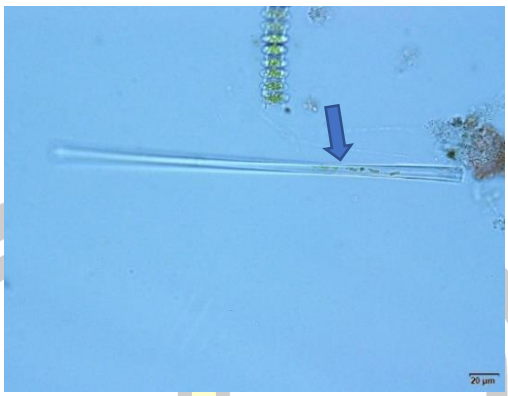
สกุล *Synedra* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 12C





A) *Diatoma* sp.2 B) *Diatoma vulgaris*

ภาพประกอบ 12 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Fragilariaceae

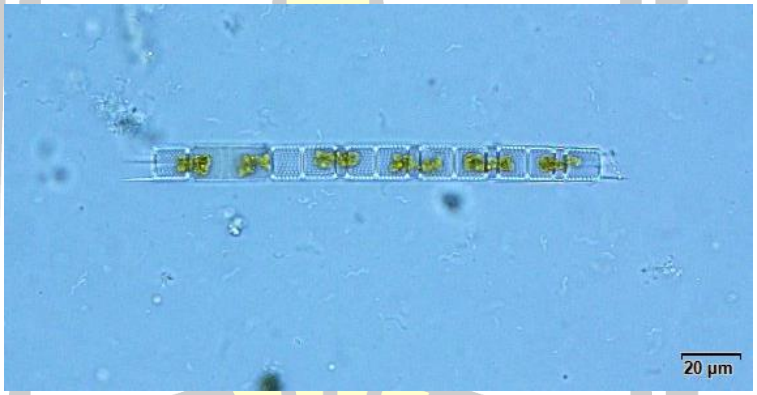


C) *Synedra* sp.

ภาพประกอบ 12 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Fragilariaceae (ต่อ)

4.1.2.2.4 วงศ์ Melosiraceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Aulacoseira* แหล่งที่พบ จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 13A



A) *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

ภาพประกอบ 13 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Melosiraceae

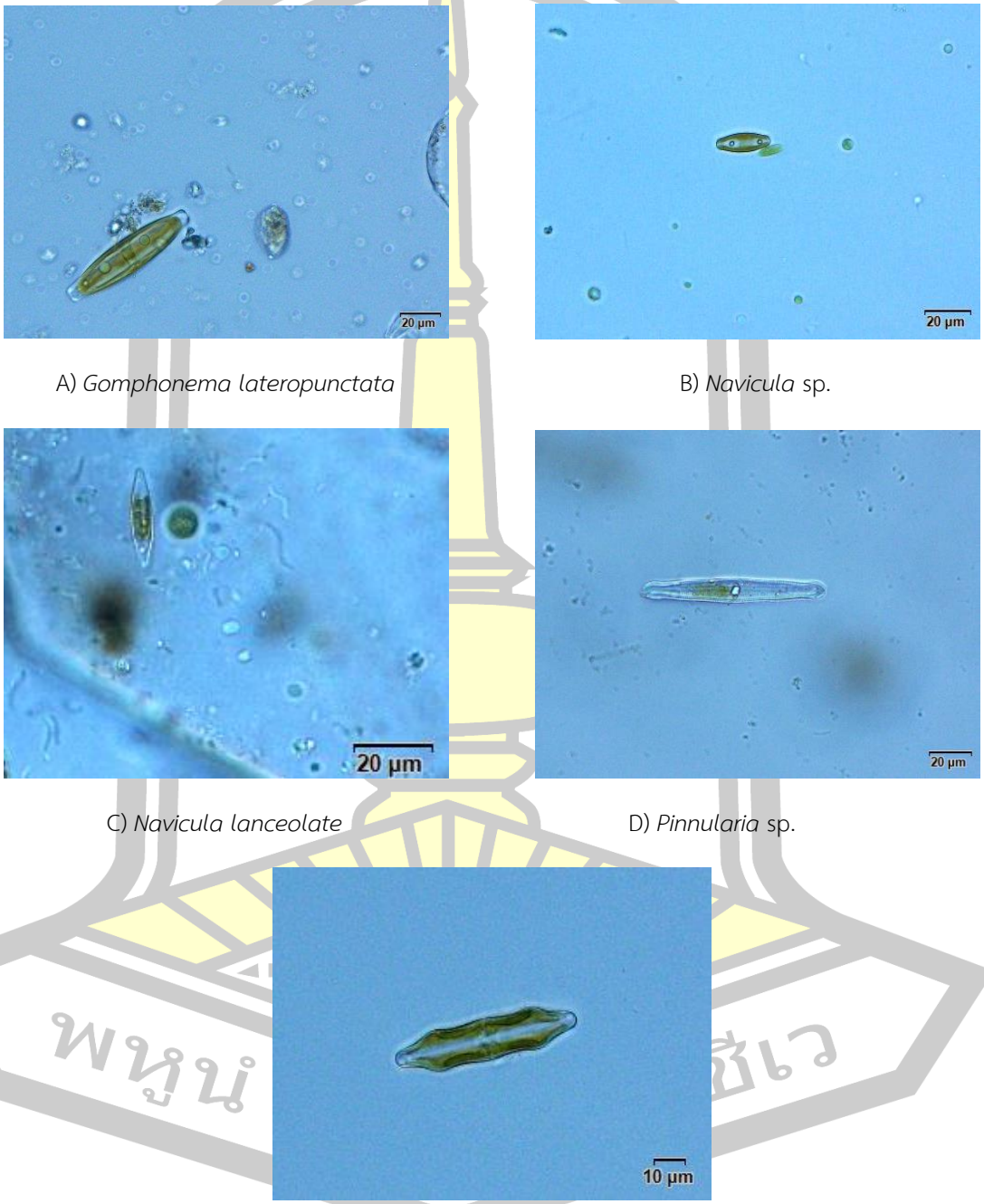
4.1.2.2.5 วงศ์ Naviculaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Gomphonema* แหล่งที่พบ จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 14A

สกุล *Navicula* แหล่งที่พบ จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ จุดที่ 4) โรงงานน้ำแข็ง ตำบลนิคม และจุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก ดังภาพประกอบ 14B และ 14C

สกุล *Pinnularia* แหล่งที่พบ จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 14D

สกุล *Stauronesis* แหล่งที่พบ จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 14E



A) *Gomphonema lateropunctata*

B) *Navicula* sp.

C) *Navicula lanceolate*

D) *Pinnularia* sp.

E) *Stauronesis* sp.

ภาพประกอบ 14 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Naviculaceae

4.1.2.3 ดิวิชัน Euglenophyta

4.1.2.3.1 วงศ์ Euglenaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Euglena* แหล่งที่พบ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 15A และ 15B

สกุล *Lepocinclis* แหล่งที่พบ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง และจุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง ดังภาพประกอบ 15C 15D 15E และ 15F

สกุล *Phacus* แหล่งที่พบ จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก และจุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคมดังภาพประกอบ 15G 15H และ 15I

สกุล *Trachelomonas* แหล่งที่พบ จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง จุดที่ 4) โรงงานน้ำแข็ง ตำบลนิคม และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 15J 15K 15L และ 15M

A) *Euglena deses* Ehrenberg

B) *Euglena ehrengergii* Klebs

C) *Lepocinclis* sp.

D) *Lepocinclis acus*

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae

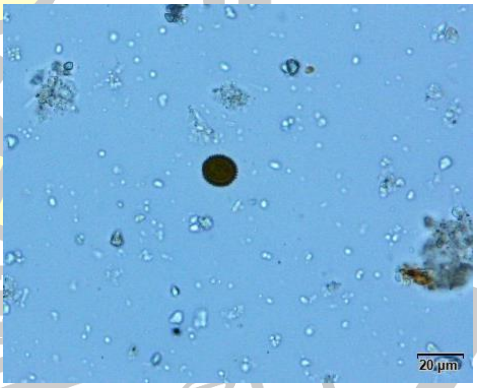
E) *Lepocinclis acus* (O.F. Muller) Marin & Melkonian

F) *Lepocinclis salina* Fritsch

G) *Phacus acuminatus* Stokes

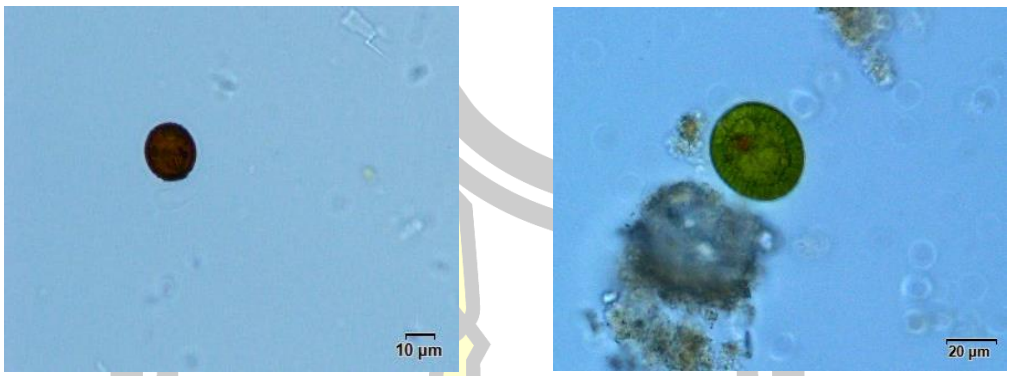
H) *Phacus helikoides* Pochmann

I) *Phacus lismorensis* Playfair



J) *Trachelomonas hispida* (Perty) Stein

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae (ต่อ)



K) *Trachelomonas superba* Swirenko emend. Deflandre L) *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg

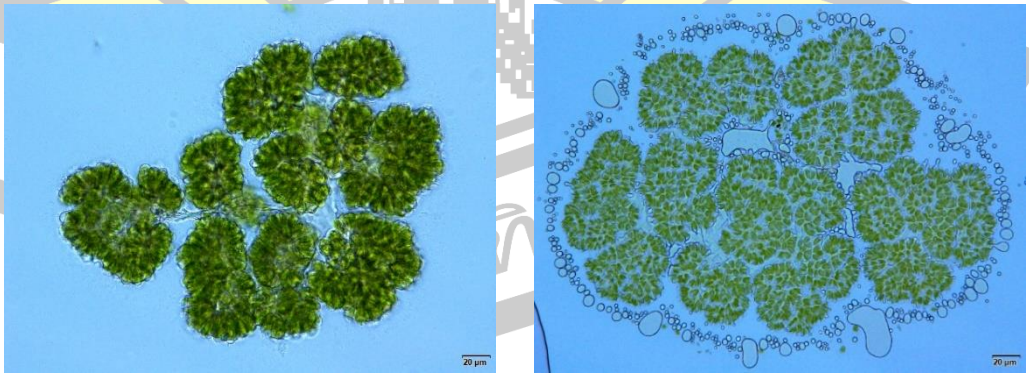
M) *Trachelomonas volvocinopsis* Swirenko

ภาพประกอบ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae (ต่อ)

4.1.2.4 ดิวิชัน Chlorophyta

4.1.2.4.1 วงศ์ Botryococcaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Botryococcus* แหล่งที่พบ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง จุดที่ 7) บ้านสระกอไทร ตำบลนิคม จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 16A และ 16B



A) *Botryococcus* sp.1 B) *Botryococcus braunii* Kützing

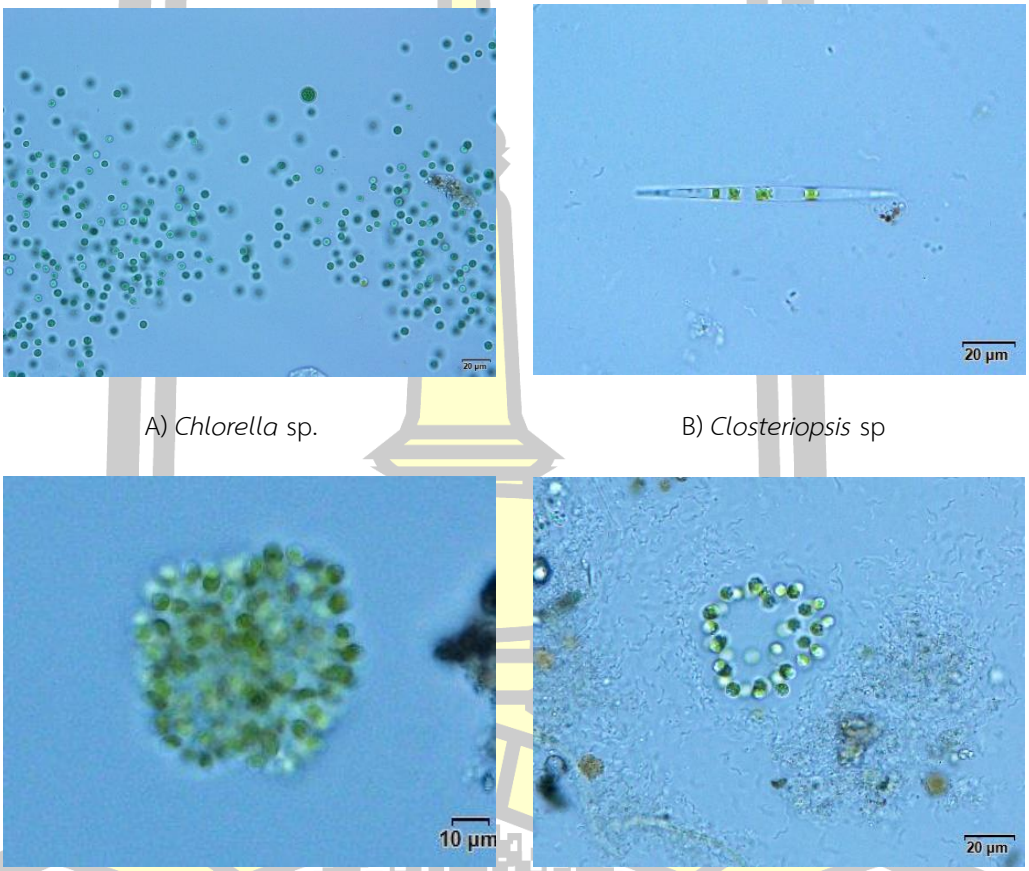
ภาพประกอบ 16 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Botryococcaceae

4.1.2.4.2 วงศ์ Chlorellaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Chlorella* แหล่งที่พบ จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 17A

สกุล *Closteriopsis* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 17B

สกุล *Dictyosphaerium* แหล่งที่พบ จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 17C และ 17D



A) *Chlorella* sp. B) *Closteriopsis* sp

C) *Dictyosphaerium* sp. D) *Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz

ภาพประกอบ 17 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlorellaceae

4.1.2.4.3 วงศ์ Cladophoraceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Cladophora* แหล่งที่พบ จุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 18A

A) *Cladophora* sp.

ภาพประกอบ 18 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Cladophoraceae

4.1.2.4.4 วงศ์ Desmidiaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Closterium* แหล่งที่พบ จุดที่ 4) โรงงานน้ำแข็ง ตำบลนิคม จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม จุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 19A 19B 19C และ 19D

สกุล *Cosmarium* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19E

สกุล *Hyalotheca* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19F

สกุล *Micrasterias* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19G และ 19H

สกุล *Onychonema* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19M

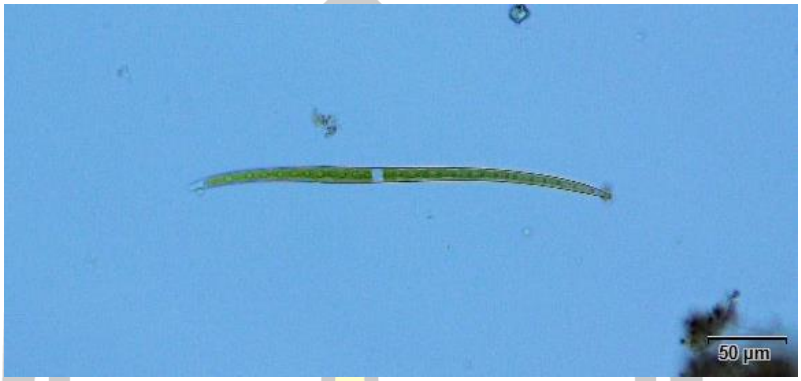
สกุล *Pleurotaenium* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19I

สกุล *Sphaerozosma* แหล่งที่พบ จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 19N

สกุล *Spondylosium* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19O และ 19P

สกุล *Staurastrum* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19J และ 19K

สกุล *Staurodesmus* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 19L



A) *Closterium acutum*

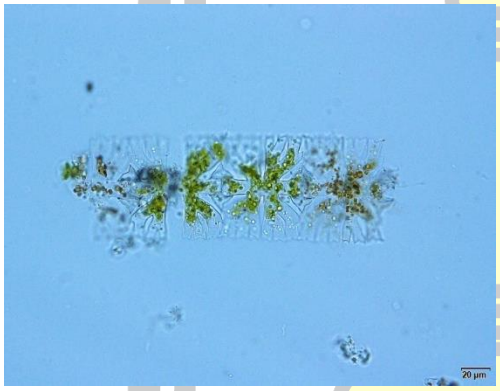
B) *Closterium gracile*

C) *Closterium attenuatum* D) *Closterium ehrenbergii*

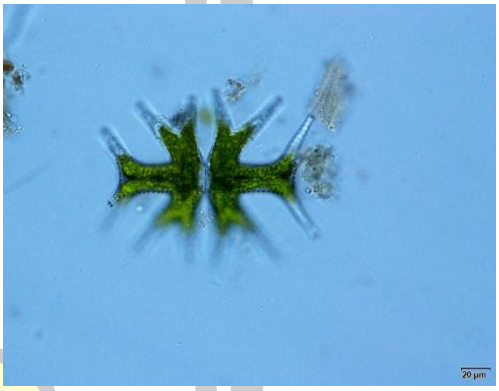
ภาพประกอบ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae

E) *Cosmarium contractum* Kirchner var. *contractum*

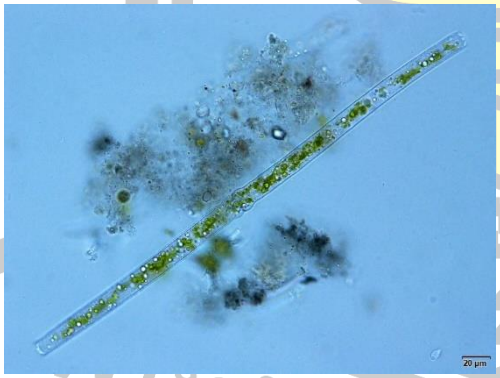
F) *Hyalotheca dissiliens* Brébisson ex Ralfs var. *dissiliens*



G) *Micrasterias foliacea* Bailey



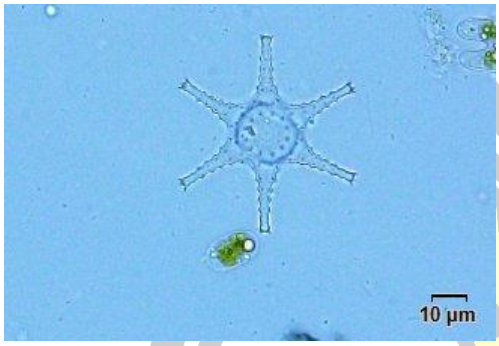
H) *Micrasterias mahabuleshwarensis*



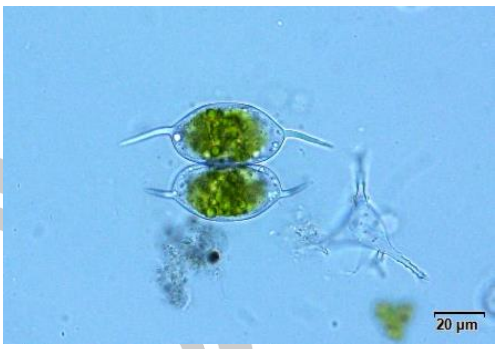
I) *Pleurotaenium* sp.

J) *Staurastrum anatinum*

ภาพประกอบ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae (ต่อ)



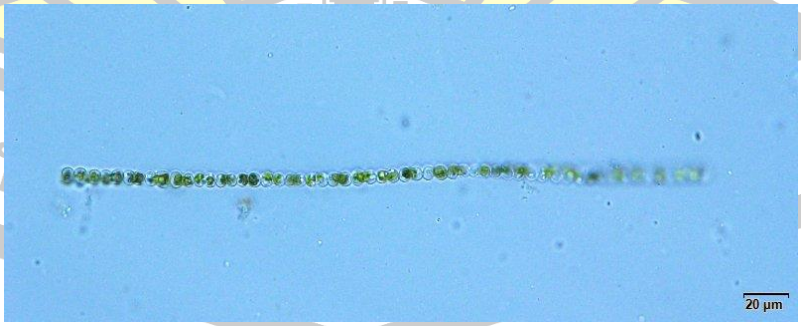
K) *Staurastrum margaritaceum*



L) *Staurodesmus convergens* Teiling var. *convergens*

M) *Onychonema laeve* Nordstedt

N) *Sphaerozosma aubertianum*



O) *Spondylosium panduriforme*

ภาพประกอบ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae (ต่อ)

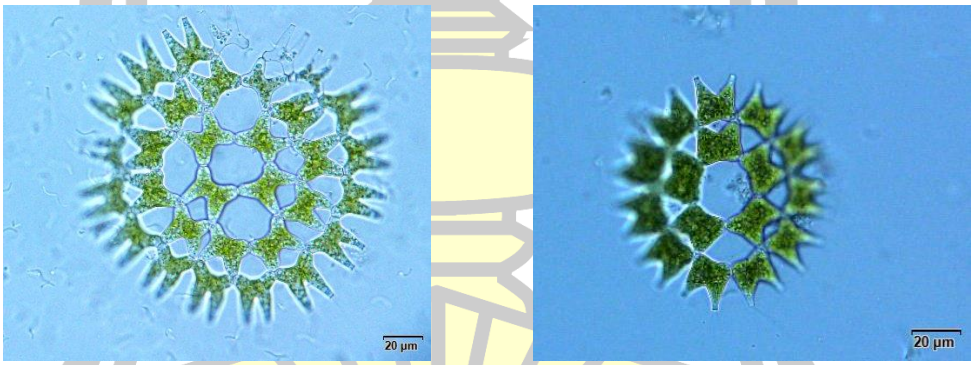
P) *Spondylosium planum*

ภาพประกอบ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae (ต่อ)

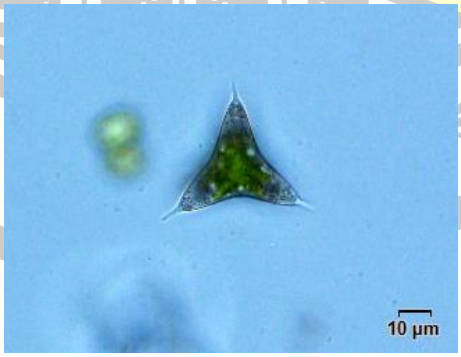
4.1.2.4.5 วงศ์ Hydrodictyceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Pediastrum* แหล่งที่พบ จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก และจุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง ดังภาพประกอบ 20A และ 20B

สกุล *Tetraedron* แหล่งที่พบ จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม ดังภาพประกอบ 20C



A) *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West B) *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim

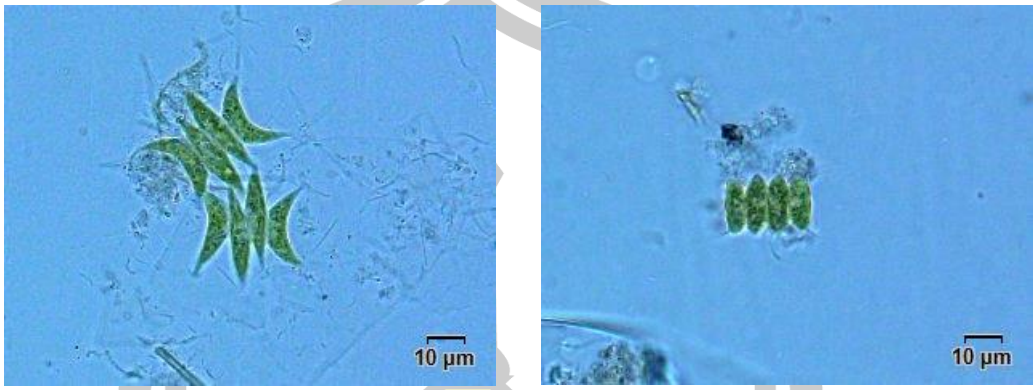


C) *Tetraedron incus* Smith

ภาพประกอบ 20 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Hydrodictyceae

4.1.2.4.6 วงศ์ Scenedesmaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Scenedesmus* แหล่งที่พบ จุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 21A และ 21B



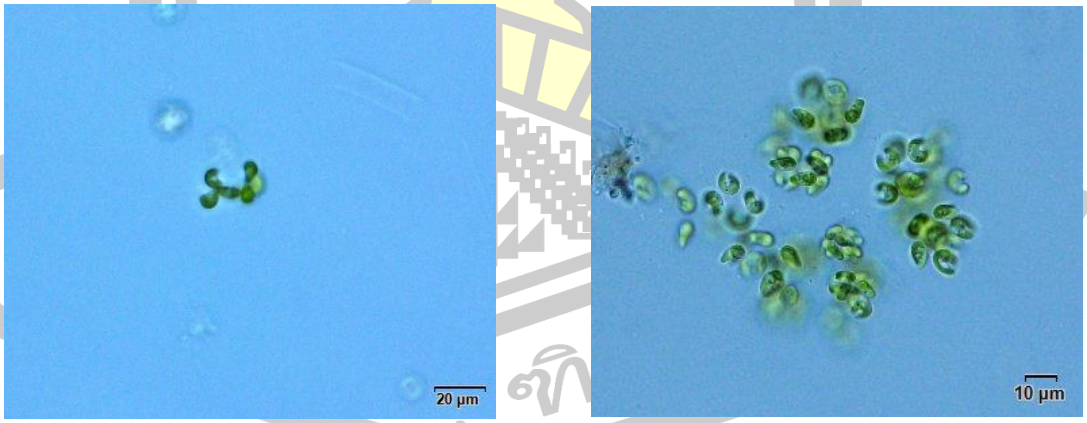
A) *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat B) *Scenedesmus quadrispina*

ภาพประกอบ 21 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Scenedesmaceae

4.1.2.4.7 วงศ์ Selenastraceae สกุลที่พบมีดังนี้

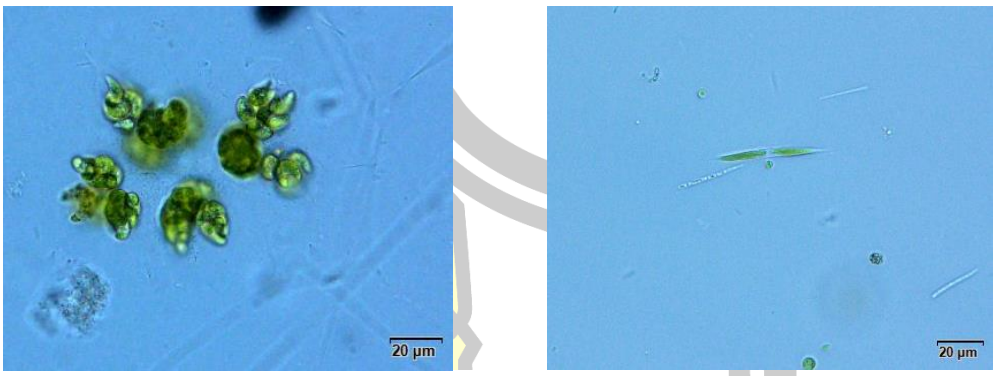
สกุล *kirchneriella* แหล่งที่พบ จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ และจุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 22A 22B และ 22C

สกุล *Monoraphidium* แหล่งที่พบ จุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ ดังภาพประกอบ 22D



A) *Kirchneriella* sp. B) *kirchneriella lunaris*

ภาพประกอบ 22 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Selenastraceae



C) *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius D) *Monoraphidium tortile* (West et West) Komárková-Legnerová

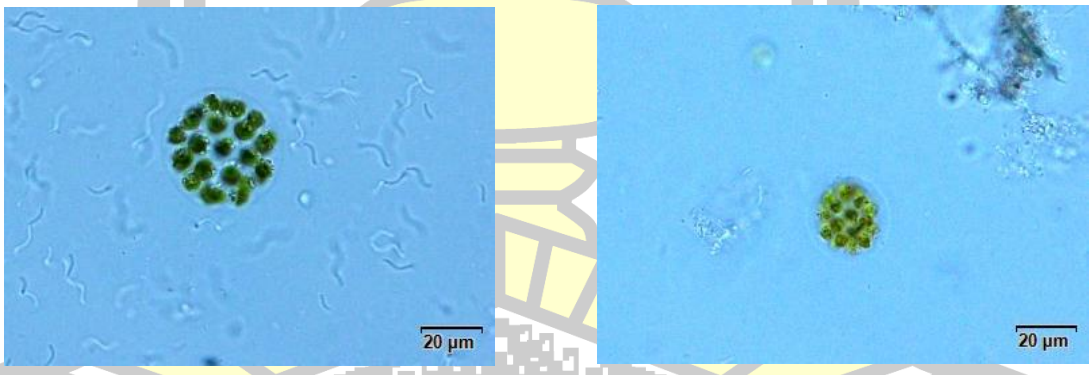
ภาพประกอบ 22 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Selenastraceae (ต่อ)

4.1.2.4.8 วงศ์ Volvocaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Eudorina* แหล่งที่พบจุดที่ 11)บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง ดังภาพประกอบ 23A

สกุล *Pandorina* แหล่งที่พบ จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก ดังภาพประกอบ 23B

สกุล *Volvox* แหล่งที่พบ จุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก ดังภาพประกอบ 23C



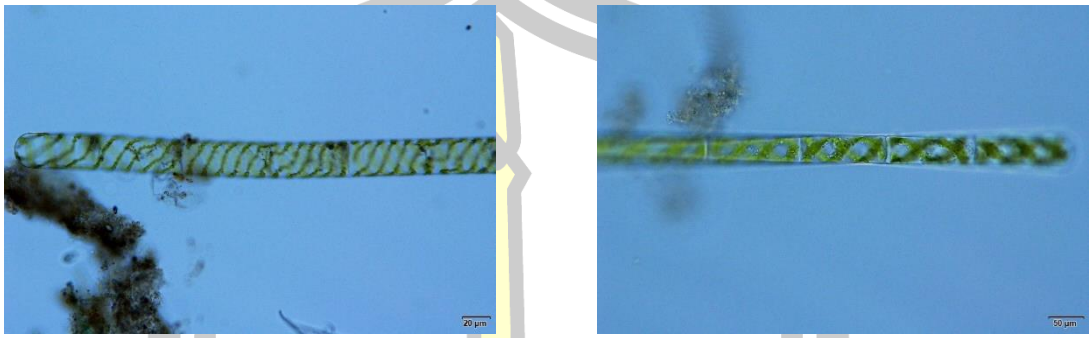
A) *Eudorina* sp. B) *Pandorina* sp.

C) *Volvox* sp.3

ภาพประกอบ 23 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Volvocaceae

4.1.2.4.9 วงศ์ Zygnemataceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Spirogyra* แหล่งที่พบจุดที่ จุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ดังภาพประกอบ 24A และ 24B



A) *Spirogyra* sp. B) *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing

ภาพประกอบ 24 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Zygnemataceae

4.1.2.5 ดิวิชัน Chrysophyta

4.1.2.5.1 วงศ์ Centritractaceae สกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Centritractus* แหล่งที่พบ จุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง ดังภาพประกอบ 25A

A) *Centritractus belanophorus* Lemmermann

ภาพประกอบ 25 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Centritractaceae

:

4.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

การศึกษาน้ำมันในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (Nile Red Staining) จากตัวอย่างทั้งหมด 5 ดิวิชัน จำแนกได้ 74 ชนิด พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Cyanophyta สามารถผลิตน้ำมันได้ 5 ชนิด จาก 12 ชนิด Bacillariophyta สามารถผลิตน้ำมันได้ 1 ชนิด จาก 11 ชนิด Chlorophyta สามารถผลิตน้ำมันได้ 11 ชนิด จาก 37 ชนิด ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน ดิวิชัน Euglenophyta จำนวน 13 ชนิด และดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 1 ชนิด ไม่พบการผลิตน้ำมันดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 สาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์

ดิวิชัน	ชนิด	ตรวจสอบการผลิตน้ำมัน	จุดที่พบตัวอย่าง
Cyanophyta	*Anabaena* sp.	-	8
	Anabaena variabilis	-	9
	Calothrix sp.	-	3
	Coelomoron pusillum (Van Goor) Komárek	+	2
	Cylindrospermopsis raciborskii	+	12
	Merismopedia sp.	-	2,12
	Merismopedia punctata Meyen	-	2
	Microcystis aeruginosa Kützing	+	5,6,11,12
	Oscillatoria sp.	+	5,6,12
	Oscillatoria princeps	-	9
	Planktolyngbya limnetica	-	3
	Spirulina sp.	+	2
Bacillariophyta	*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen	-	1,9,10
	Brachysira neoacutas Lange-Bertalot	-	9
	Diatoma sp.2	-	9
	Diatoma vulgaris	-	10
	Gomphonema lateropunctata	-	10
	Navicula sp.	+	2,4
	Navicula lanceolate	-	6
	Nitzschia improvisa	-	11
	Pinnularia sp.	-	10
	Stauronesis sp.	-	10
	Synedra sp.	-	8

ตาราง 11 สาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ตรวจสอบการผลิตน้ำมัน	จุดที่พบตัวอย่าง
Euglenophyta	*Euglena deses* Ehrenberg	-	10
	Euglena ehrengergii Klebs	-	3
	Lepocinclis sp.	-	11
	Lepocinclis acus	-	3
	Lepocinclis acus (O.F. Muller) Marin & Melkonian	-	6
	Lepocinclis salina Fritsch	-	10
	Phacus acuminatus Stokes	-	1,6
	Phacus helikoides Pochmann	-	8
	Phacus lismorensis Playfair	-	5
	Trachelomonas hispida (Perty) Stein	-	10
	Trachelomonas superba Swirenko emend. Deflandre	-	1
	Trachelomonas volvocina Ehrenberg	-	4
	Trachelomonas volvocinopsis Swirenko	-	10
Chlorophyta	*Botryococcus* sp.1	+	3
	Botryococcus braunii Kützing	+	3,7,8,12
	Chlorella sp.	+	10
	Cladophora sp.	+	12
	Closterium acutum	-	12
	Closterium attenuatum	-	11
	Closterium ehrenbergii	-	8
	Closterium gracile	-	4
	Closteriopsis sp.	-	8
	Cosmarium contractum Kirchner var. *contractum*	-	8
	Dictyosphaerium sp.	-	10
	Dictyosphaerium tetrachotomum Printz	-	9
	Eudorina sp.	-	11
	Hyalotheca dissiliens Brébisson ex Ralfs var. *dissiliens*	-	8
	Kirchneriella sp.	-	2
	kirchneriella lunaris	+	1
	Kirchneriella lunaris (Kirchner) Möbius	+	5
	Micrasterias foliacea Bailey	+	8
	Micrasterias mahabuleshwarensis	-	8

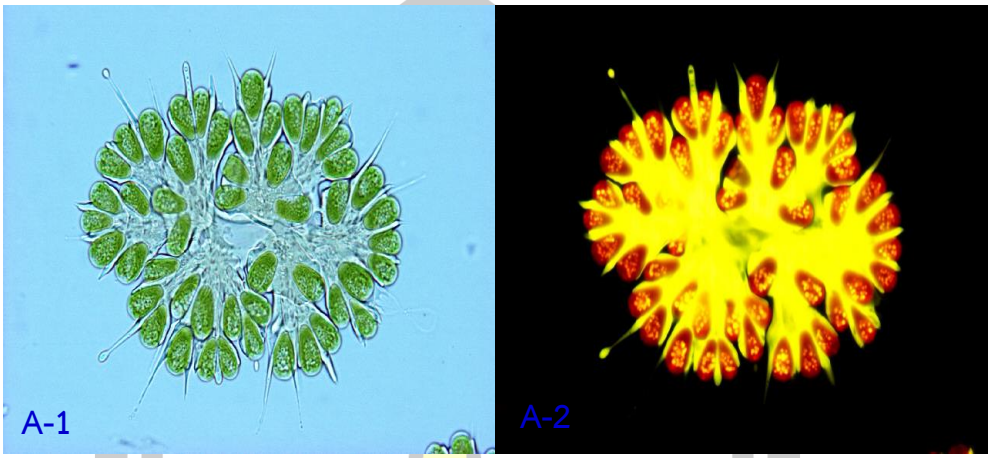
ตาราง 11 สาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่พบจากแหล่งน้ำในอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ตรวจสอบการผลิตน้ำมัน	จุดที่พบตัวอย่าง
	Monoraphidium tortile (West et West) Komárková-Legnerová	-	2
	Onychonema laeve Nordstedt	-	8
	Pandorina sp.	-	6
	Pediastrum duplex var. *gracillimum* West	+	5,11
	Pediastrum duplex var. *reticulatum* Lagerheim	+	5
	Pleurotaenium sp.	-	8
	Scenedesmus acuminatus (Lagerheim) Chodat	+	5
	Scenedesmus quadrispina	-	5
	Sphaerozosma aubertianum	-	9
	Spirogyra sp.	+	3,12
	Spirogyra neglecta (Hassall) Kützing	-	12
	Spondylosium panduriforme	-	8
	Spondylosium planum	-	8
	Staurastrum anatinum	-	8
	Staurastrum margaritaceum	-	8
	Staurodesmus convergens Teiling var. *convergens*	-	8
	Tetraedron incus Smith	-	8
	Volvox sp.3	-	9
Chrysophyta	*Centritractus belanophorus* Lemmermann	-	10

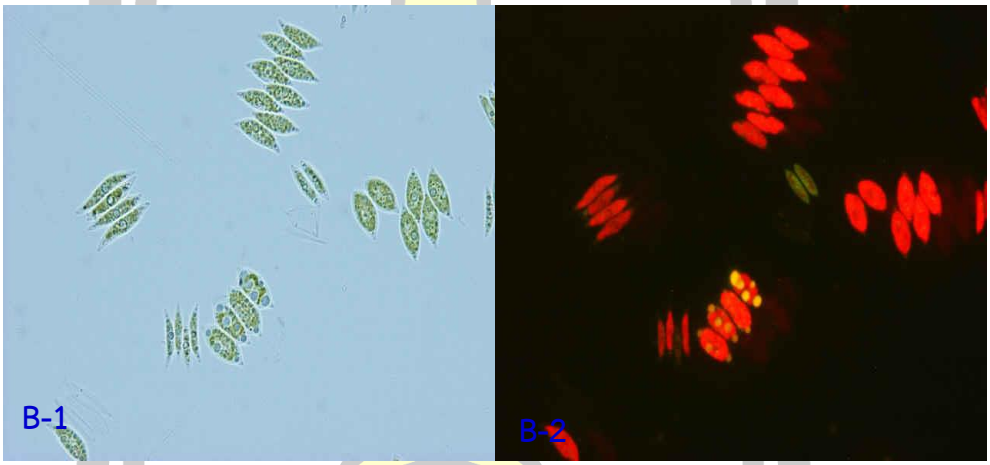
หมายเหตุ : + = พบน้ำมัน, - = ไม่พบน้ำมัน

ผลการตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด ดังแสดงในภาพประกอบ 26 โดยภาพ A-1, B-1 และ C-1 คือสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Chlorella* sp. ก่อนย้อมสีไนล์เรดตามลำดับจะมองเห็นคลอโรฟิลล์ในเซลล์ได้อย่างชัดเจน ส่วนภาพ A-2, B-2 และ C-2 คือสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Chlorella* sp. หลังการย้อมสีไนล์เรดตามลำดับ ซึ่งตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์

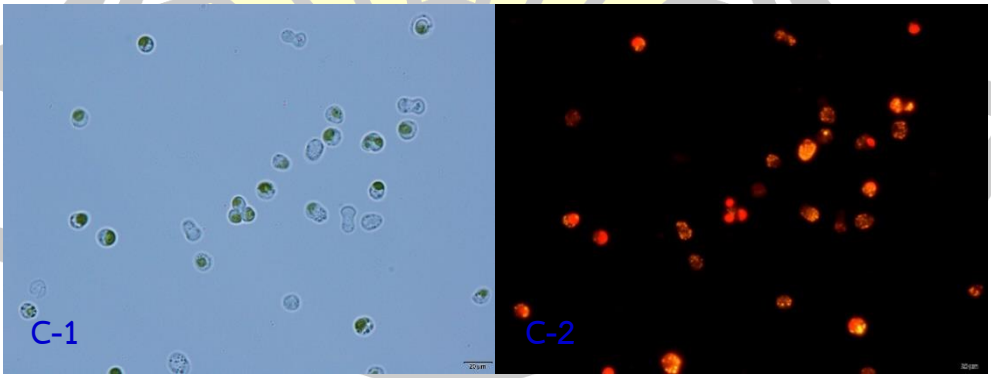
จะปรากฏส่วนที่เรืองแสงสีเหลืองซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสร้างน้ำมัน ส่วนบริเวณสีแดงประกอบด้วยคลอโรฟิลล์และสารอื่น ๆ ที่เซลล์สร้างขึ้น



A-1, A-2) *Botryococcus braunii* Kützing



B-1, B-2) *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat



C-1, C-2) *Chlorella* sp.

ภาพประกอบ 26 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กโดยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด

หมายเหตุ : ภาพ A-1, B-1 และ C-1 ก่อนย้อมสีไนล์เรด ภาพ A-2, B-2 และ C-2 หลังการย้อมสีไนล์เรด

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถเจริญได้ดีที่สุดในบริเวณที่มีความชื้น เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพเหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำของพื้นที่อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ โดยทำการเก็บตัวอย่างด้วยถุงลากแพลงก์ตอนตาข่ายขนาดความถี่ 10 ไมโครเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 12 จุดได้แก่ ตำบลนิคม 3 จุด ตำบลสตึก 2 จุด ส่วนตำบลชุมแสง ตำบลหนองใหญ่ ตำบลร่อนทอง ตำบลเมืองแก ตำบลกระสัง ตำบลทุ่งวัง และตำบลสะแกตำบลละ 1 จุด ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2560 เวลาในการเก็บตัวอย่าง 08.00-12.00 น. ผลของคุณภาพน้ำทางเคมี ทางกายภาพและชีวภาพดังนี้ อุณหภูมิของน้ำ 24-27 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ 6-7 เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่าของแข็งละลายน้ำอยู่ระหว่าง 51-787 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 103-1,577 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าที่วัดได้สูงกว่าน้ำจืดทั่วไป ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำในขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุแต่ละชนิด ค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ระหว่าง 18-78 เซนติเมตร หากมีค่าต่ำแสดงว่ามีปริมาณแพลงก์ตอนสูงเกินไป อาจทำให้เกิดภาวะขาดแคลนออกซิเจนได้หรืออาจไปขัดขวางไม่ให้แสงส่องผ่าน ทำให้พืชน้ำรวมทั้งแพลงก์ตอนพืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีค่าสูงอาจเกิดความไม่สมบูรณ์ของอินทรีย์สารและพืชน้ำ ส่วนในจุดที่ 12 ค่าของแข็งละลายน้ำที่วัดได้ 538 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ค่าความโปร่งใสของน้ำวัดได้สูงถึง 70 เซนติเมตร อาจเกิดจากสมบัติของการละลายของสารในตัวทำละลาย ซึ่งของแข็งที่อยู่ในน้ำละลายได้หมดและละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำจึงทำให้น้ำมีความโปร่งใส เพราะอนุภาคของตัวถูกละลายเมื่อละลายแล้วมีขนาดเล็กเกินกว่าตามนุษย์จะสามารถมองเห็นได้ พืชน้ำที่พบได้แก่ผักบุ้ง ผักตบชวา ผักกระเฉด และบัว จากข้อมูลคุณภาพน้ำดังกล่าวพบว่าสิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายที่บ่งชี้คุณภาพน้ำไม่ดีหรือมีสารอาหารสูง ได้แก่ สกุล *Euglena, Phacus, Trachelomonas, Anabaena, Merismopedia, Spirulina, Microcystis, Oscillatoria, Scenedesmus,* และ *Nitzschia* ส่วนค่า DO และ ค่า BOD ของน้ำไม่ได้ทำการตรวจสอบ เนื่องจากสาหร่ายเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศดังนั้นค่า DO และ ค่า BOD จึงมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสาหร่ายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำในด้านอื่น ๆ

จากการสำรวจพบสาหร่ายขนาดเล็กสามารถจัดจำแนกได้ทั้งหมด 5 ดิวิชัน (division) 22 วงศ์ (family) 47 สกุล (genus) 74 ชนิด (species) ตามวิธีของ ยุวดี พีรพรพิศาล (2556), ลัดดา วงศ์รัตน์ (2542), Graham *et al.* (2009) และ Bold and Wynne (1985) จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด จำนวน 37 ชนิด รองลงมาคือ ดิวิชัน Euglenophyta จำนวน 13 ชนิด, Cyanophyta จำนวน 12 ชนิด, Bacillariophyta จำนวน 11 ชนิด และดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 1 ชนิด คิดเป็น 50.00%, 17.57%, 16.22%, 14.86% และ 1.35% ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งสาหร่ายขนาดเล็กทั้ง 5 ดิวิชันนี้เป็นสาหร่ายที่พบทั่วไปในน้ำจืด สอดคล้องกับงานวิจัยของไพริน สุดทัง และคณะ (2553) ได้ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ พบความหลากหลายของดิวิชัน Chlorophyta มากที่สุด ส่วนดิวิชันที่พบน้อยที่สุดคือ Chrysophyta

5.2 การตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

การศึกษาน้ำมันในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (Nile Red Staining) เป็นวิธีการที่สามารถทำได้รวดเร็วในการตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ผลการจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กจากตัวอย่างทั้งหมดประกอบด้วย 5 ดิวิชัน จำแนกได้ 74 ชนิด พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Cyanophyta ทั้งหมด 12 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 5 ชนิดได้แก่ *Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek,*Cylindrospermopsis raciborskii, Microcystis aeruginosa* Kützing, *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ดิวิชัน Bacillariophyta ทั้งหมด 11 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 1 ชนิด ได้แก่ *Navicula* sp. ดิวิชัน Chlorophyta ทั้งหมด 37 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 11 ชนิด ได้แก่ *Botryococcus* sp.1, *Botryococcus braunii* Kützing, *Chlorella* sp., *Cladophora* sp., *Kirchneriella lunaris*, *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius, *Micrasterias foliacea* Bailey, *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West, *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Spirogyra* sp. ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Euglenophyta ทั้งหมด 13 ชนิด และ ดิวิชัน Chrysophyta ทั้งหมด 1 ชนิด ไม่พบการผลิตน้ำมัน

ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบการผลิตน้ำมันในเซลล์สาหร่ายจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ *Botryococcus braunii* Kützing, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Chlorella* sp. เนื่องจากในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเป็นอย่างยิ่ง โดยการแยกสาหร่ายด้วยไมโครปิเปตแล้วนำไปเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร BG-11 ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อตรวจสอบน้ำมันด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด ในเซลล์สาหร่ายที่สามารถผลิตน้ำมันจะเรืองแสงสีเหลืองเมื่อส่องดูภายใต้

กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ (Rattanapoltee and Kaewkannetra, 2013; Gusbeth *et al.*, 2016) จากการศึกษาข้อมูลในสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 74 ชนิด โดยการอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผลิตน้ำมันได้ทั้งหมด 21 ชนิด ประกอบด้วยสาหร่ายในดิวิชัน Cyanophyta จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ *Coelomoron pusillum* (Van Goor) Komárek,*Cylindrospermopsis raciborskii, Microcystis aeruginosa* Kützing, *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ดิวิชัน Bacillariophyta จำนวน 1 ชนิด ได้แก่ *Navicula* sp. และดิวิชัน Chlorophyta จำนวน 11 ชนิด ได้แก่ *Botryococcus* sp.1, *Botryococcus braunii* Kützing, *Chlorella* sp., *Cladophora* sp., *Kirchneriella lunaris*, *Kirchneriella lunaris* (Kirchner) Möbius, *Micrasterias foliacea* Bailey, *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West, *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat และ *Spirogyra* sp. สอดคล้องกับงานวิจัยของอรพรรณ พรหมธนพันธ์ และ รัฐภูมิ พรหมณะ (2556) ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า *Spirogyra* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบมากที่สุด 14.05±3.00% (น้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง) รองลงมาคือ *Microcystis* sp. 13.35±3.00% และน้อยที่สุดใน *Cladophora* sp. 5.84±0.10% และผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สามารถนำมาพัฒนาในการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของน้ำมันไบโอดีเซลได้ ภาณินี จรุงกีรติวิมล และคณะ (2559) ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตน้ำมันในเซลล์สดของสาหร่ายขนาดเล็กพบว่า *Chlorella* sp. ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 32.814% โดยน้ำหนักและเมื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณไขมันพบว่ามีความเหมาะสมในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล Abdo *et al.* (2013) ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดไขมันและปริมาณน้ำมันทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวน 19 สายพันธุ์ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจากแม่น้ำไนล์ของยีอิปต์ จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร BG-11 ก่อนทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตและตรวจสอบปริมาณน้ำมันพบว่า *Microcystis aeruginosa* มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ 30% Nascimento *et al.* (2014) วิเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเปรียบเทียบกับน้ำมันจากพืช พบว่าน้ำมันจากสาหร่าย 6 สายพันธุ์มีผลผลิตของน้ำมันที่สูงกว่า 40 มิลลิลิตร $1^{-1}day^{-1}$ และ *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมัน 45.0±3.6% ต่อน้ำหนักแห้ง Abdo *et al.* (2014) ทำการแยกสาหร่ายผลิตน้ำมันเพื่อเป็นกุญแจสำคัญในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยตรวจสอบการผลิตน้ำมันด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ที่ค่า excitation 450-490-นาโนเมตร และค่า emission 515-นาโนเมตร โดยนิวทรัลลิพิดหรือไตรกลีเซอไรด์จะปรากฏจุดสีเหลือง และพบว่า *Microcystis aeruginosa* ปรากฏสีเหลืองชัดเจนและมีปริมาณไขมันสูงถึง 30%±0.3 Chtourou *et al.* (2015) ทำการสกัดน้ำมันจาก *Navicula* sp. พบว่าน้ำมันที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตไบโอดีเซล Melanie and Fithriani (2015) ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันสำหรับใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลจาก *Spirulina* sp.

และ *Chlorella* sp. พบว่าวิธี sonicator เป็นวิธีที่ดีที่สุด Gani *et al.* (2016) ชี้ให้เห็นว่า Botryococcus sp. มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษและสำหรับพัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียนในการผลิตไบโอดีเซล Patel *et al.* (2017) ศึกษาผลจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 7 สายพันธุ์ เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยวัดการเจริญเติบโต ชีวมวล คาร์โบไฮเดรตและไขมัน พบว่า *Oscillatoria* sp. มีปริมาณไขมัน 8.9% Prasertsin and Peerapornpisal (2018) ทำการคัดแยกและตรวจสอบความสามารถในการผลิตน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด 39.25±0.32% โดยน้ำหนักแห้ง และสาหร่ายขนาดเล็กอื่น ๆ ที่พบน้ำมันได้แก่ *kirchneriella lunaris*, *Pediastrum duplex*, *Coelomoron pusillum*, *Micrasterias foliacea* และ *Cylindrospermopsis raciborskii* มีปริมาณน้ำมัน 24.30±0.34%, 14.50±0.20%, 10.73±0.25%, 10.45±0.07% และ 8.24±0.09% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสาหร่ายในการสร้างน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล Unpaprom *et al.* (2015) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *Scenedesmus acuminatus* ในน้ำทิ้งจากโรงเลี้ยงสุกร เพื่อการบำบัดของเสียคู่กับการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะผลิตไบโอดีเซลจากชีวมวลของสาหร่ายสดโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการอบแห้ง Dehaghani and Pirouzfar (2018) ศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กระหว่าง *chlorella* sp. และ *spirulina platensis* พบว่า *chlorella* sp. มีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่าเนื่องจากเจริญเติบโตเร็ว ผลผลิตชีวมวลสูง มีปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่เหมาะสม (C14:0, C16:0 และ C18:0) ซึ่งเป็นสารประกอบของกรดไขมันทั่วไปในไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 74 ชนิด โดยพบสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันมากที่สุดในจุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก จำนวนจุดละ 6 ชนิด รองลงมาคือจุดที่ 2) บ้านสวายตางวน ตำบลหนองใหญ่ และจุดที่ 3) บ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง จำนวนจุดละ 3 ชนิด จุดที่ 6) โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม ตำบลเมืองแก จุดที่ 8) บ้านตลาด ตำบลนิคม และจุดที่ 11) บ้านทุ่งวัง ตำบลทุ่งวัง จำนวนจุดละ 2 ชนิด จุดที่ 1) บ้านตามา ตำบลชุมแสง จุดที่ 4) โรงงานน้ำแข็ง ตำบลนิคม จุดที่ 7) บ้านสระกอไทร ตำบลนิคม และจุดที่ 10) บ้านกระสัง ตำบลกระสัง จำนวนจุดละ 1 ชนิด ส่วนจุดที่ไม่พบสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมัน คือจุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก จากการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่เป็นชนิดเด่นคือ *Botryococcus braunii* Kützing ซึ่งพบสาหร่ายดังกล่าวนี้ในจุดที่ 3, 7, 8 และ 12 คือบ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง, บ้านสระกอไทร ตำบลนิคม, บ้านตลาดตำบลนิคม และบ้านสะแก ตำบลสะแกตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันในเซลล์มากที่สุด จากผลการย้อมสีไนล์เรดและตรวจสอบการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์จะปรากฏจุดหรือคราบสีเหลืองเกือบเต็มเซลล์ สอดคล้องกับงานวิจัยของสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และคณะ (2555) ได้ทำการคัดเลือกสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า

Botryococcus braunii มีไขมันมากที่สุด 13.2±0.2% และกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ กรดปาล์มิติก Prasertsin and Peerapornpisal (2018) ทำการคัดแยกและตรวจสอบความสามารถในการผลิตน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด 39.25±0.32% โดยน้ำหนักแห้ง และมีรายงานวิจัยการพัฒนาและศึกษาวิธีการนำน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ในการผลิตพลังงานชีวภาพ Boni *et al.* (2018) ศึกษาน้ำมันจาก *Botryococcus braunii* เพื่อศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล ด้วยวิธีการสกัดแบบซอกซ์เล็ต (soxhlet) Dilia and Leila (2018) พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณของกรดโอเลอิกอยู่ระหว่าง 15.65-35.85% กรดไลโนเลอิก 3.05-23.15% กรดปาล์มิติก 4.03-22.13% และกรดสเตียริก 0.48-15.41% ซึ่งเป็นตัวแปรในการเลือกน้ำมันจากสาหร่ายชนิดนี้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากอัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวไม่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้มีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันสาหร่ายในการผลิตเชื้อเพลิงเครื่องบิน ซึ่งผลิตโดยโรงกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงสาหร่ายแห่งแรกในญี่ปุ่น โดยจะนำไปใช้กับเครื่องบินเจ็ทในปริมาณ 33,000 แกลลอนต่อปี ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มความสำเร็จในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายในอนาคต

5.3 สรุปผล

5.3.1 ผลการตรวจคุณภาพน้ำทางเคมี และทางกายภาพพบว่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ 6-7 ค่าของแข็งละลายน้ำอยู่ระหว่าง 51-787 ส่วนในล้านส่วน ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 103-1,577 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ระหว่าง 18-78 เซนติเมตร คุณภาพน้ำทางชีวภาพพืชน้ำที่พบได้แก่ผักบุ้ง ผักตบชวา ผักกระเฉด และบัว ส่วนสาหร่ายที่บ่งชี้คุณภาพน้ำไม่ดีหรือมีสารอาหารสูง ได้แก่ สกุล *Euglena, Phacus, Trachelomonas, Anabaena, Spirulina, Merismopedia, Microcystis, Nitzschia, Oscillatoria,* และ *Scenedesmus* ซึ่งจุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก พบมากที่สุด

5.3.2 ผลการจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กจากตัวอย่างทั้งหมดประกอบด้วย 5 ดิวิชัน จำแนกได้ 74 ชนิด พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Cyanophyta ทั้งหมด 12 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 5 ชนิด ดิวิชัน Bacillariophyta ทั้งหมด 11 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 1 ชนิด ดิวิชัน Chlorophyta ทั้งหมด 37 ชนิด สามารถผลิตน้ำมันได้ 11 ชนิด ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Euglenophyta จำนวน 13 ชนิด และดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 1 ชนิด ไม่พบการผลิตน้ำมัน

5.3.3 สาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันจากงานวิจัยนี้ทั้งหมด 17 ชนิด มีรายงานการศึกษาในประเทศไทย แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์

5.3.4 จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันที่เป็นชนิดเด่น เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันในเซลล์มากที่สุดคือ *Botryococcus braunii* Kützing ซึ่งพบสาหร่ายดังกล่าวนี้ในจุดที่ 3, 7, 8

และ 12 คือบ้านหนองน้ำขุ่น ตำบลร่อนทอง, บ้านสระกอไทร ตำบลนิคม, บ้านตลาด ตำบลนิคม และบ้านสะแก ตำบลสะแกตามลำดับ

5.3.5 พบสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมันมากที่สุดในจุดที่ 5) บ้านหนองเกาะ ตำบลสตึก และจุดที่ 12) บ้านสะแก ตำบลสะแก ส่วนจุดที่ไม่พบสาหร่ายขนาดเล็กผลิตน้ำมัน คือจุดที่ 9) บ้านคูขาด ตำบลสตึก

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ แต่ไม่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมัน เช่น ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมัน ค่ากรดไขมันอิ่มตัวหรือค่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นควรศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของน้ำมันที่ได้เพื่อประสิทธิภาพในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

5.4.2 ในการศึกษานี้สามารถระบุปริมาณน้ำมันได้ว่าพบมากหรือน้อยโดยดูผลจากความเข้มของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์จะปรากฏจุดหรือคราบสีเหลือง แต่ไม่สามารถระบุค่าที่เป็นตัวเลขได้ ดังนั้นอาจศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวปริมาณน้ำมัน โดยวิธีการสกัด อาจสกัดด้วยวิธีทางกายภาพ (physical extraction) เช่น การบด (mechanical crushing) วิธีออสโมติกช็อก (osmotic shock) วิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิก (ultrasonic extraction) หรือการสกัดด้วยวิธีทางเคมี (chemical extraction) เช่น วิธีการสกัดแบบซอกซ์เล็ต (soxhlet extraction) การสกัดวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluids method)

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ (2547) *คู่มือการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างง่าย* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

ไพริน สุดทัง, สรัญญา วัชโรทัย, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และณัฏฐา เสนีวาส (2553) ความหลากหลายของสาหร่ายแนวดิ่งในบึงบอระเพ็ดจังหวัดนครสวรรค์. *พฤกษศาสตร์ไทย*, 2 (พิเศษ), 21–31.

ภาณินี จรุงกีรติวิมล, จารุวรรณ ชลสงคราม, วีระสิทธิ์ สรรพมงคลไชย,สุมัลลิกา โมลากุล และประมุข ภระกูลสุขสถิตย์ (2559). การเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตลิพิดระหว่าง *Ankistrodesmus* sp. IFRPD No. 1061 และ *Chlorella* sp. IFRPD No. 1092 ในบ่อเปิดแบบรางคู่. *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาพันธุวิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. วันที่ 2-5 กุมภาพนธ์ 2559, กรุงเทพฯ, ภาคเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1004-1011.

ยุวดี พีรพรพิศาล (2546) *สาหร่ายวิทยา (Phycology)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล (2556) *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่, โชตนาพริ้นท์จำกัด.

ลัดดา วงรัตน์ (2540) *คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน*. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์ (2542) *แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีนา ชูโชติ, กิตติคุณ สุคันโธวงศ์, ธนิยา แซ่โอ้ว และสันติสุข ขวัญศิริวณิช (2557) การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่มีปริมาณไขมันสูง. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, 8(1), 84–92.

ศิวคุปต์ ธัญญเจริญ, รัตนชัย ไพรินทร์ และทรงพล ชื่นคำ (2556) การศึกษาการสกัดน้ำมันจากสาหร่าย *Spirogyra sp*. ผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทดแทน. *วิทยาศาสตร์เกษตร*, 44 (2 พิเศษ), 349–352.

สรวิศ เผ่าทองสุข (2543) *สาหร่าย ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และมณฑล แก่นมณี (2555) *การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวลเพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ*. ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรพรรณ พรหมธนพันธ์ และ รัฐภูมิ พรหมณะ (2556) น้ำมันชีวภาพที่สกัดจากไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวบางชนิดที่พบในจังหวัดพะเยาและจังหวัดน่าน. *นเรศวรพะเยา*, 6(2), 96–99.

Abdo SM, Ahmed E, El-Enin SA, El Din RS, Diwani GE and Ali G (2013) Growth Rate and Fatty Acids Profile of 19 Microalgal Strains Isolated from River Nile for Biodiesel Production. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 4(4), 51–59.

Abdo SM, Ahmed E, El-Enin SA, El Din RS, Diwani G.E and Ali G (2014) Qualitative and quantitative determination of lipid content in microalgae for biofuel production. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 5(3), 223–228.

Alemán-Nava GS, Cuellar-Bermudez SP, Cuaresma M, Bosma R, Muylaert K, Ritmann BE and Parra R (2016) How to use Nile Red, a selective fluorescent stain for microalgal neutral lipids. *Journal of Microbiological Methods*, 2016(128), 74–79.

Becker EW (1994) *Biotechnology and Microbiology*. 1st ed. Cambridge, England, Cambridge University Press.

Belarbi EH, Molina E and Chisti Y (2000) A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentanoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme and Microbial Technology*, 2000(26), 516–529.

Bold CH and Wynne (1985) *Introduction to the algae*. 2nd ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.

Boni J, Aida S and Leila K (2018) Lipid Extraction Method From Microalgae Botryococcus Braunii As Raw Material To Make Biodiesel With Soxhlet Extraction. *Journal of Physics*, 1095(1), 012004.

Chelf P (1990) Environment control of lipid and biomass production in two diatom species. *Journal of Applied Phycology*, 2(2), 121–129.

Chen W, Zhang C, Song L, Sommerfeld M and Hu Q (2009) A high throughput Nile red method for quantitative measurement of neutral lipids in microalgae. *Journal of Microbiological Methods*, 2009(77), 41–47.

Chisti Y (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306.

Chtourou H, Dahmen I, Karray F, Sayadi S and Dhouib A (2015) Biodiesel Production of *Amphora* sp. and *Navicula* sp. by Different Cell Disruption and Lipid Extraction Methods. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 9(6), 588–595.

Danielo O (2005) An algae-based fuel. *Biofutur*, 2005(225), 33–36.

Dehaghani AHS and Pirouzfar V (2018) Investigation on the Effect of Microalgae *Chlorella* sp. and *Spirulina* on Biodiesel Production. *Petroleum Chemistry*, 58(8),

702–708.

Diaz G, Melis M, Batetta B, Angius F and Falchi AM (2008) Hydrophobic characterization of intracellular lipids in situ by Nile Red red/yellow emission ratio. *Micron*, 39(7), 819–824.

Dilia P and Leila K (2018) Fatty Acids From Microalgae *Botryococcus braunii* For Raw Material of Biodiesel. *Journal of Physics*, 1095(1), 012010.

Fukuda H, Kondo A and Noda H (2001) Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405–416.

Gani P, Sunar NM, Matias-Peralta HM, Latiff AAA, Parjo UK, Embong Z, Khalid A and Tajudin SAA (2016) The potential of biodiesel production from *Botryococcus* sp. biomass after phycoremediation of domestic and industrial wastewater. *Materials Science and Engineering*, 160(1), 1–9.

Googlemaps https://www.google.co.th/maps/ สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2561

Graham LE, Graham JM and Wilcox LW (2009) *Algae*. 2nd ed. San Francisco, CA, Pearson Education.

Gusbeth CA, Eing C, Göttel M, Straßner R and Frey W (2016) Fluorescence Diagnostics for Lipid Status Monitoring of Microalgae during Cultivation. *Journal of Renewable Energy & Biofuels*, 2016(2016), 1–12.

Halim R and Webley PA (2015) Nile Red Staining for Oil Determination in Microalgal Cells: A New Insight through Statistical Modelling. *International Journal of Chemical Engineering*, 2015(695061), 1–14.

Held P and Raymond K (2011) Determination of Algal Cell Lipids Using Nile Red Using Microplates to Monitor Neutral Lipids in Chlorella Vulgaris. *BioTek Application Note*, 2011, 1–5.

Illman AM, Scragg AH and Shales SW (2000) Increase in Chlorella strains calorific values when grown in lownitrogen medium. *Enzyme and Microbial Technology*, 2000(27), 631–635.

Malapascua JR, Chou HN, Lu WJ and Lan JCW (2012) Development of an indirect method of microalgal lipid quantification using a lysochrome dye, Nile red. *African Journal of Biotechnology*, 11(70), 13518–13527.

Melanie S and Fithriani D (2015) Determination of oil extraction rate from *Spirulina* sp. and *Chlorella* sp. by using cell disruption technique. *Journal of Widyariset*, 1(1), 61–70.

Miao X, Wu Q and Yang C (2004) Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 855–863.

Nascimento AI, Marques SSI, Cabanelas ITD, Carvalho GC, Nascimento MA, Souza CO, Druzian JI, Hussain J and Liao W (2014) Microalgae Versus Land Crops as Feedstock for Biodiesel:Productivity, Quality, and Standard Compliance. *BioEnergy Research*, 7(3), 1002–1003.

Patel VK, Sundaram S, Patel AK, Kalra A (2017) Characterization of Seven Species of Cyanobacteria for High-Quality Biomass Production. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(1), 109–121.

Prasertsin T and Peerapornpisal Y (2018) Distribution and isolation of microalgae for lipid production in selected freshwater reservoirs of northern Thailand. *Biodiversitas*, 19(1), 343–350.

Ratledge C (2004) Fatty acid biosynthesis in microorganisms being used for single cell oil production. *Biochimie*, 86(11), 807–815.

Rattanapoltee P and Kaewkannetra P (2013) Nile Red, an Alternative Fluorescence Method for Quantification of Neutral Lipids in Microalgae. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 7(9), 889–893.

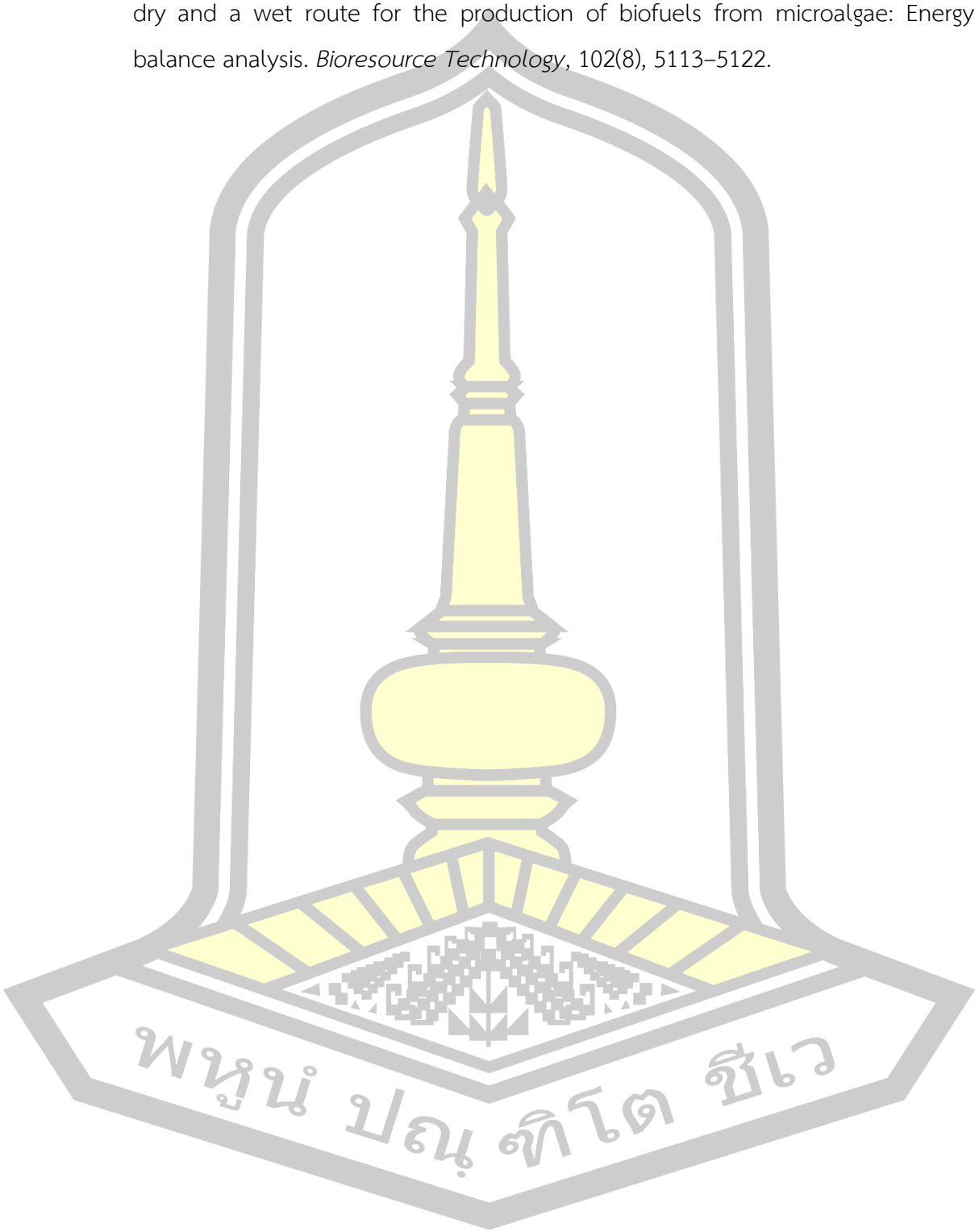
Satpati GG and Pal R (2014) Rapid detection of neutral lipid in green microalgae by flow cytometry in combination with Nile red staining-an improved technique. *Annals of Microbiology*, 65(2), 937–949.

Sawayama S, Minowa T and Yokoyama SY (1999) Possibility of renewable energy production and carbon dioxide mitigation by thermochemical liquefaction of microalgae. *Biomass and Bioenergy*, 17(1), 33–39.

Smith VH, Sturm BS, deNoyelles FJ and Billings SA (2009) The ecology of algal biodiesel production. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(5), 301–309.

Unpaprom Y, Tipnee S and Rameshprabu R (2015) Biodiesel from green alga Scenedesmus acuminatus. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 4(1–1), 1–6.

Xu L, Brilman DWFW, Withag JAM, Brem G and Kersten SRA (2011) Assessment of a dry and a wet route for the production of biofuels from microalgae: Energy balance analysis. *Bioresource Technology*, 102(8), 5113–5122.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	วิไลวัลย์ มาน้ำเที่ยง
วันเกิด	16 กุมภาพันธ์ 2525
สถานที่เกิด	บุรีรัมย์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	2 หมู่ 10 ตำบลสนามชัย อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม จ.บุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว