ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่สะสมไขมันในลุ่มแม่น้ำชีจังหวัดมหาสารคาม

วิทยานิพนธ์

ของ

นุสรา คำแก้ว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่สะสมไขมันในลุ่มแม่น้ำชีจังหวัดมหาสารคาม

วิทยานิพนธ์

ของ

นุสรา คำแก้ว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Diversity of Bio-oil Freshwater Microalgae in Chi River Basin, Maha Sarakham Province

Nusara Khamkaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Biology Education)

October 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวนุสรา คำแก้ว 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)	(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหูนํ ปญฺญา ธีโร ชีเว

ชื่อเรื่อง ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่สะสมไขมันในลุ่มแม่น้ำชีจังหวัดมหาสารคาม
ผู้วิจัย นุสรา คำแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บังอร แถวโนนงิ้ว
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** ชีววิทยาศึกษา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็ก ตรวจสอบการสะสมไขมันจากสาหร่าย และตรวจสอบคุณภาพน้ำทาง กายภาพ และ เคมี จากลุ่มแม่น้ำชีในพื้นที่ 3 อำเภอ คือ โกสุมพิสัย เมืองมหาสารคาม และ กันทรวิชัย รวมทั้งหมด 20 จุด โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายแบบสุ่มโดยใช้สวิงจับแพลงก์ตอนขนาดตา 10 ไมโครเมตร นำมาตรวจสอบชนิดของสาหร่ายและตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีไนล์เรด การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติกเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าความนำไฟฟ้า ส่วนค่าความโปร่งใสของน้ำ และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพของแหล่งน้ำตรวจสอบในพื้นที่จริง ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี พบว่า อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26.0-28.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.0-9.9 ค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ในช่วง 10.0-150.0 เซนติเมตร ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 110.0-653.0 ส่วนในล้านส่วน ส่วนคุณภาพน้ำทางชีววิทยาพบสาหร่ายชนิดเด่นที่บ่งชี้คุณภาพปานกลางถึงไม่ดี จำนวนทั้งหมด 25 ชนิด ซึ่งพืชน้ำที่พบได้แก่ จอกหูหนู แหนแดง สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายไฟ ผักบุ้ง ผักตบชวา ผักกระเฉด และบัว ซึ่งจากข้อมูลคุณภาพน้ำนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ จากการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กพบทั้งหมด 5 ดิวิชัน 76 ชนิด โดยสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด จำนวน 36 ชนิด รองลงมาคือ ดิวิชัน Cyanophyta จำนวน 19 ชนิด Bacillariophyta จำนวน 14 ชนิด Euglenophyta จำนวน 5 ชนิด และ ดิวิชัน Chrysophyta จำนวน 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 47.37 20.25 18.42 6.58 และ 2.63 ของสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด จากนั้นได้นำตัวอย่างสาหร่าย 5 ชนิดมาตรวจสอบน้ำมันโดยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด ส่วนสาหร่ายที่เหลือนำมาตรวจสอบการสะสมไขมันโดยเทียบเคียงกับผลงานวิจัยต่างๆ พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กสะสมไขมันได้ทั้งหมด 35 ชนิด โดย

Chlorophyta พบมากที่สุด 57.14 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือ Cyanophyta 20.00 เปอร์เซนต์ Bacillariophyta 17.14 เปอร์เซ็นต์ และ Euglenophyta 5.71 เปอร์เซนต์ แต่ ดิวิชัน Chrysophyta ไม่พบชนิดสะสมไขมัน สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันที่เป็นชนิดเด่น คือ *Botryococcus braunii* Kützing ซึ่งพบได้ที่จาก 3 จุดคือที่ 1 ห้วยคะคางใกล้วัดป่าวังน้ำเย็น ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จุดที่ 12 แหล่งน้ำหนองคู บ้านดอนหน่อง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย และจุดที่ 20 ห้วยบ้านแพง ตำบลบ้านแพง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม นอกจากนี้จุดที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตำบลตลาด อำเภอเมือง พบสาหร่ายขนาดเล็กสะสมไขมันจำนวนมากชนิดที่สุด คือ 12 ชนิด ส่วนจุดที่ 2 วังมัจฉา ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามพบน้อยชนิดที่สุดเพียง 1 ชนิด เท่านั้น

คำสำคัญ : การย้อมสีไนล์เรด, ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็ก, สาขาแม่น้ำชี มหาสารคาม, สาหร่ายขนาดเล็กสะสมไขมัน

TITLE	Diversity of Bio-oil Freshwater Microalgae in Chi River Basin, Maha Sarakham Province
AUTHOR	Nusara Khamkaew
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 bio-oil freshwater microalgae, oil production, some chemical and physical water quality and biological aspects at twenty station of Chi river basin from three districts (Kantharawichai, Mueang Maha Sarakham and Kosum Phisai), Maha Sarakham province. The collection of microalgae used a 10 micrometer plankton net and then took microalgae to identify species and bio-oil determination using Nile Red staining technique. The water sampling was collected by plastic bottle and then brought to measure value of temperature, pH, total dissolve solid and conductivity whereas water transparency value was checked in the field. The range observed values of water quality parameters were water temperature of 26.0-28.3 °C, pH 6.0-9.9, total dissolved solids of 110.0-653.0 ppm, conductivity of 122.0-1304.0 µS/cm and water transparency of 10.0-150.0 cm. Biological water quality, found 25 species of algae that indicated moderate to poor quality. The aquatic plants found in many stations as *Alvinia cucullata*, water fern, *Hydrilla* algae, stone worts, morning glory, water hyacinth, water mimosa and lotus. From this water quality data was suitable for life. For microalgae diversity determination could be classified into 5 divisions, 76 species. The most dominant microalgae division was Chlorophyta of 36 species; this was followed by Cyanobacteria of 19 species, Bacillariophyta of 14 species, Euglenophyta of 5 species and Chrysophyta of 2 species, so they could be calculated as 47.37, 20.25, 18.42, 6.58 and 2.63

percentage of all microalgae, respectively. In addition, bio-oil detection using Nile Red staining technique in 5 species and comparable to other research showed 35 species. The value of percentage of bio-oil microalgae divisions showed 57.14, 20.00, 17.14, 5.71 and 0.00 of all oil microalgae in Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta and Chrysophyta, respectively. The most dominant microalgae was *Botryococcus braunii* Kützing that could find at station 1, Huai Khakang, near the Wang Nam Yen Temple, Koeng Subdistrict, Mueang District, station12, Nong Khu Water Source, Ban Don Nhong, Kham Riang Subdistrict, Kantharawichai District, and the station 20 Huai Ban Phaeng, Ban Phaeng Subdistrict, Kosum Phisai District Mahasarakham province. In the finally, the maximum and minimum number of bio-oil microalgae species were 12 and 2 species which found at station 6 Huai Khakang, Wat Pa Suphamit, Talad Subdistrict, Muang District, and Wang Matcha, Koeng Subdistrict, Mueang District, Maha Sarakham Province.

Keyword : Nile Red Staining, oil microalgae, Chi river, Maha Sarakham, Bio oils

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.บังอร แถวโนนงิ้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักเป็นอยางยิ่งที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาคำแนะนำแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนการช่วยเหลือและสนับสนุนในการนำเสนอผลงานทางวิชาการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. กีรวิชญ์ เพชรจุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. ธีรพร กทิศาสตร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.เอกพจน์ ศรีฟ้า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและให้คำปรึกษาคอยช่วยเหลือและแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอยางสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคุณวัชรี กัลยาลัง นักวิจัยศูนย์ความเป็นเลิศทางสาหร่ายแห่งประเทศไทย จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษาและตรวจสอบการจัดจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณและรำรึกถึงพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและเป็นกำลังใจเสมอมาจึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นุสรา คำแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ซ
สารบัญ	ฌ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 สถานที่ทำการวิจัย	3
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย	4
2.2 ลักษณะทั่วไปของเซลล์สาหร่าย (shape)	5
2.3 การจัดจำแนกหมวดหมู่ของสาหร่าย	6
2.4 ประโยชน์ของสาหร่าย	14
2.5 คุณภาพน้ำ (Water quality)	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็ก (bio-oil microalgae)	22

พหฺนํ ปญฺญา ชีเว

2.7 ลุ่มแม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย........ 30
3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของแหล่งน้ำ........ 30
3.2 ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็ก 35
บทที่ 4 ผลการวิจัย........ 36
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของแหล่งน้ำ........ 36
4.2 ผลการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 39
4.3 การตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก 74
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ 82
5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ........ 82
5.2 ผลการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 83
5.3. การตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก 83
5.4 สรุปผล 87
5.5 ข้อเสนอแนะ 88
บรรณานุกรม........ 89
ประวัติผู้เขียน........ 95

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่างๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%) 23

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด.. 24

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ................................ 30

ตารางที่ 4 พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก ในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 34

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ 20 จุด................................ 36

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ 20 จุด (ต่อ)........................ 37

ตารางที่ 7 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง... 40

ตารางที่ 8 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ) 41

ตารางที่ 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ) 42

ตารางที่ 10 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)............................. 43

ตารางที่ 11 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)............................. 44

ตารางที่ 12 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)............................. 45

ตารางที่ 13 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)............................. 46

ตารางที่ 14 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม... 47

ตารางที่ 15 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ) 48

ตารางที่ 16 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ) 49

ตารางที่ 17 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ) 50

ตารางที่ 18 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ) 51

ตารางที่ 19 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 74

ตารางที่ 20 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ).... 75

ตารางที่ 21 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ).... 76

ตารางที่ 22 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ).... 77

ตารางที่ 23 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ).... 78

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 32

ภาพประกอบที่ 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 32

ภาพประกอบที่ 3 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม 33

ภาพประกอบที่ 4 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chroococcaceae 52

ภาพประกอบที่ 5 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Merismopediaceae 53

ภาพประกอบที่ 6 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriaceae 53

ภาพประกอบที่ 7 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriales 54

ภาพประกอบที่ 8 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Synechococcaceae 54

ภาพประกอบที่ 9 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Pseudanabaenaceae 55

ภาพประกอบที่ 10 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Rivulariaceae 55

ภาพประกอบที่ 11 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Comomtiellaceae 56

ภาพประกอบที่ 12 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Mastigocladaceae 56

ภาพประกอบที่ 13 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Phormidiaceae 57

ภาพประกอบที่ 14 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Scenedesmaceae 57

ภาพประกอบที่ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Melosiraceae 58

ภาพประกอบที่ 16 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Naviculaceae 59

ภาพประกอบที่ 17 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Thalassiosiraceae 60

ภาพประกอบที่ 18 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Fragilariaceae 60

ภาพประกอบที่ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Bacillariaceae 61

พหุนํปณฺฑิโต ชีเว

ภาพประกอบที่ 20 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae 62
ภาพประกอบที่ 21 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Selenastraceae 63
ภาพประกอบที่ 22 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Botryococcaceae 64
ภาพประกอบที่ 23 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae 66
ภาพประกอบที่ 24 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Gonatozygaceae 67
ภาพประกอบที่ 25ลักษณะสาหร่ายวงศ์ Scenedesmuceae 67
ภาพประกอบที่ 26 ลักษณะสาหร่ายวงศ์ Tetrasporaceae 68
ภาพประกอบที่ 27 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Hydrodictyceae 69
ภาพประกอบที่ 28 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Volvocaceae 70
ภาพประกอบที่ 29 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlorellaceae 70
ภาพประกอบที่ 30 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oocystaceae 71
ภาพประกอบที่ 31 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlamydomonadaceae 72
ภาพประกอบที่ 32 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Zygnemataceae 72
ภาพประกอบที่ 33 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Centritractaceae 73
ภาพประกอบที่ 34 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Pleurochloridaceae 73
ภาพประกอบที่ 35 ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีการย้อมสีไนล์เรด 79
ภาพประกอบที่ 36 ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีการย้อมสีไนล์เรด 80

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) เป็นสาหร่ายที่มีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดู อาศัยอยู่ในน้ำทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม จัดอยู่ในอาณาจักรโมเนอรา (Monera) และโปรติสตา (Protista) มีคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว หรือหลายเซลล์ มีขนาดตั้งแต่เล็กมากจนขนาด พิโค (pico = 10^{-12} เมตร) เช่น พิโคแพลงก์ตอน (picoplankton) ขนาด 0.2-2 ไมครอน และไมโครแพลงก์ตอน (microplankton) มีขนาด ระหว่าง 20-200 ไมครอน ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่ มีความยาวหลายสิบเมตร เช่น วัชพืชทะเล (seaweed) ไม่มีราก ลำต้น และใบที่แท้จริง สาหร่ายส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายพืช สาหร่ายบางกลุ่มมีโครงสร้างเซลล์คล้ายแบคทีเรียและบางกลุ่มที่เคลื่อนที่ด้วยแส้ (flagellum) ก็มีลักษณะคล้ายสัตว์ สาหร่ายขนาดเล็กมีผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสสามารถผลิตเป็นน้ำมันได้ มีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายแล้วนำมาผสมแอลกอฮอล์ใช้แทนน้ำมัน มีชื่อเรียกว่า ออยล์กี้ สาหร่ายมีศักยภาพในการสะสมไขมันที่สูงกว่าพืชพลังงานทุกชนิดเมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่เท่ากัน โดยพืชน้ำมันต่อพื้นที่ปลูก 1 หน่วยเฮกตาร์ (1 เฮกตาร์ เท่ากับ 10,000 ตารางเมตร) ทานตะวันได้น้ำมัน 952 ลิตร ปาล์มได้น้ำมัน 5,950 ลิตร มะพร้าวได้น้ำมัน 2,689 ลิตร แต่สาหร่ายได้น้ำมันสูงถึง 100,000 ลิตร สาหร่ายขนาดเล็กจึงเป็นสิ่งมีชีวิตทางเลือกใหม่ของแหล่งผลิตพลังงานเพราะประหยัดพื้นที่ในการเพาะเลี้ยงและเจริญได้ดีในภูมิอากาศร้อนสามารถเจริญเติบโตดีได้ตลอดทั้งปี สาหร่ายบางสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียหรือบ่อบำบัดน้ำเสียทำให้ไม่ต้องเปลืองเนื้อที่และประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนอีกด้วย นอกจากนี้สาหร่ายยังช่วยดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก สามารถ ดูดซับโลหะหนัก บำบัดน้ำเสียอีกด้วย สาหร่ายเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่แพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติดำรงชีวิตอยู่ได้หลายรูปแบบ เช่น ล่องลอยอยู่ในแหล่งน้ำ เรียกว่าแพลงก์ตอนพืช และดำรงชีวิตแบบยึดติดกับพื้นทะเลหรือวัสดุอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถพบสาหร่ายในสภาพแวดล้อมอื่นๆ อีก เช่น ใน ดิน หิมะ น้ำพุร้อน และสาหร่ายที่ใช้ชีวิตอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในลักษณะความสัมพันธ์แบบพึ่งพา ได้แก่ ไลเคนส์ เป็นต้น ด้านการใช้เป็นพลังงานชีวภาพเนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชมีกรดไขมันสูงประมาณ 20 ชนิดของน้ำหนักแห้ง บางชนิดสูงถึง 60 ถึง 70 ชนิดของน้ำหนักแห้ง จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาการลดลงอย่างรวดเร็วของพลังงานจากน้ำมันและถ่านหินในภูมิภาคของโลก ซึ่งสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้นับว่าเป็น

ความหวังของมนุษยชาติที่จะใช้เป็นพลังงานชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556) และ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์หาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

ในปัจจุบันประเทศต่างๆทั่วโลกกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่ต้องนำเข้าน้ำมัน เช่น ประเทศไทย จากปัญหาดังกล่าวได้มีการวิจัยเพื่อหาพลังงานทดแทนหรือพลังงานในรูปแบบใหม่อย่างมากมายและหนึ่งในพลังงานทางเลือกดังกล่าวคือ ไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากชีวมวล (biomass) โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือจากสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์มาผ่านกระบวนการทางเคมีโดยทำปฏิกิริยากับแอลล์กอฮอล์และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลผลิตเป็นเอสเทอร์และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล แต่จากการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือจากสัตว์ เช่น น้ำมันปาล์ม สบู่ดำ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทนก่อให้เกิดการแข่งขันด้านราคาและส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารและปัจจัยการผลิต เนื่องจากต้องใช้พื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมากและใช้ระยะเวลานานในการเจริญเติบโต แต่สาหร่ายขนาดเล็กมีความรวดเร็วในการสะสมพลังงานในเซลล์ สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าพืชทั่วไป โดยใช้เวลาเพาะเลี้ยง 7–14 วันก็สามารถนำมาสกัดน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลได้แล้ว (ศิวคุปต์ ธัญญเจริญ, 2556) นอกจากนี้สาหร่ายยังเก็บสะสมสารอาหารไว้ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ได้อีกด้วย ดังนั้นการสำรวจหาสาหร่ายที่สามารถสะสมไขมันได้จึงมีความสำคัญในการหาแหล่งผลิตพลังงานทดแทนที่อาจเป็นไปได้ในอนาคตและยังลดภาวะโลกร้อนได้ด้วยรวมทั้งไม่เกิดปัญหาในการแย่งส่วนแบ่งทางอาหารจากพืชน้ำมันได้ การตรวจสอบปริมาณน้ำมันในสาหร่ายสามารถทำได้หลายวิธี แต่การย้อมสีไนล์เรดซึ่งจะเรืองแสงสีเหลืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนต์ เป็นวิธีที่สะดวกรู้ผลได้รวดเร็วและเสียค่าใช้จ่ายน้อย (Rattanapoltee and Kaewkannetra, 2013)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจเกี่ยวกับความหลากหลายของสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็กในลุ่มน้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเนื่องจากยังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายที่สะสมไขมันขนาดเล็กแหล่งน้ำนี้มาก่อน เพื่อจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งน้ำที่มีสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็กเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

1.2.2 เพื่อตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กโดยวิธีไนล์เรด

1.2.3 เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

1.3.1 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถสะสมไขมันได้ในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกต่อไป

1.3.2 ทราบถึงวิธีการตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กโดยวิธีไนล์เรด

1.3.3 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีบางประการ ชีวภาพ และสภาวะแวดล้อมของลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เก็บตัวอย่างน้ำและสาหร่ายขนาดเล็ก นำมาศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็ก ตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีไนล์เรด ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และสภาพแวดล้อมในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และห้องวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 10 เดือน

ขั้นตอนการเตรียมการ

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันได้ และสำรวจพื้นที่

เขียนโครงร่างวิทยานิพนธ์

ขออนุมัติโครงการ

ขั้นตอนดำเนินการ (3 เดือน) ระหว่างเดือน เมษายน 2561 ถึง เดือนมิถุนายน 2561

เก็บตัวอย่าง จัดจำแนกชนิด

ตรวจสอบการสะสมไขมัน

วิเคราะห์ข้อมูล

จัดทำรายงาน (7 เดือน)

เขียนผลการทดลอง

ตีพิมพ์เผยแพร่

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบชนิดของสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถสะสมไขมันได้

2. สามารถตรวจสอบน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กได้

3. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งเก็บสาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ต่อไป

4.สามารถบ่งบอกคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีบางประการ ชีวภาพ และได้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย

สาหร่ายหมายถึงสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายพืชชั้นต่ำ มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้น และใบที่แท้จริง ประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ มีขนาดตั้งแต่เล็กมากมองมาเห็นด้วยตาเปล่า จนมีขนาดใหญ่ความยาวหลายสิบเมตร หรือลักษณะเหมือนพืชชั้นสูงโดยมีส่วนที่คล้ายราก ลำต้นและใบรวมเรียกทั้งหมดว่า “ทัลลัส” (thallus)

สาหร่ายเซลล์เดียวเป็นสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏขึ้นบนโลกมากกว่า 3,000 ล้านปี ถือเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกๆที่เกิดขึ้นบนโลกมีบทบาทเป็นผู้ผลิตขั้นต้นของระบบนิเวศ ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพิ่มออกซิเจนให้บรรยากาศซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของสิ่งมีชีวิตต่างๆบนโลก สาหร่ายวิวัฒนาการตัวเองไปพร้อมกับความเปลี่ยนแปลงของโลกเพื่อปรับตัวให้สามารถอยู่รอดต่อไป สาหร่าย เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตนเองจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับพืชทั่วไป มีขนาดเล็กตั้งแต่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายร้อยเมตร เช่น สาหร่ายทะเลหลายชนิด สาหร่ายมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะเป็นเซลล์เดียว หลายเซลล์มารวมกลุ่มกัน เรียกว่ากลุ่มเซลล์หรือโคโลนี เป็นเส้นสายทั้งแตกแขนงและไม่แตกแขนง เป็นทัลลัสที่คล้ายราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูง แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียงดังเช่นพืชชั้นสูง ทุกเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิตเหมือนๆกัน สาหร่ายพบได้ทุกหนทุกแห่งที่มีความชื้นโดยเฉพาะในน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม จึงพบได้ในทั้ง คูคลอง หนองบึง อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ ลำธาร แม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร แม้กระทั่งในอ่างเลี้ยงปลา หรือขวดใส่น้ำ ส่วนบนบกเราก็สามารถพบสาหร่ายได้ ทั้งในดินน้ำ หน้าดิน บนใบไม้ ต้นไม้ พื้นผิวทั่วไป ทั้งผนังตึก รั้วบ้านและลานซักล้าง บางครั้งพบอยู่ในใบพืชหรือในตัวสัตว์ แม้ในอาหารที่ร้อนจัด เช่นในน้ำพุร้อน หรือบริเวณที่หนาวเย็นเช่นในหิมะ ก็สามารถพบสาหร่ายได้เช่นกัน (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)

สาหร่ายมีความแตกต่างจากพืชในดิวิชันอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

1. สาหร่ายอาจจะประกอบไปด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (colony) มีบางชนิดที่ประกอบด้วยเซลล์พวกพาเรนไคมา (parenchyma) มองดูคล้ายราก ลำต้น และใบซึ่งรวมเรียกว่าทัลลัส เช่น สาหร่ายสีเขียวบางชนิด สาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีแดง อย่างไรก็ตามกลุ่มเซลล์ดังกล่าวยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง (differentiation) ไปเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) หรืออวัยวะ (organ)

2. สาหร่ายไม่มีระบบท่อลำเลียง (vascular system) แต่สาหร่ายที่มีทัลลัส บางชนิดจะมีเซลล์ที่คล้ายคลึงกับเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร (phloem) และเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) แต่ยังไม่มีท่อลำเลียงน้ำ (xylem)

3. เซลล์สืบพันธุ์ของสาหร่ายประกอบด้วย เซลล์เพียงเซลล์เดียว โดยไม่มีชั้นของเซลล์อื่น ๆ มาห่อหุ้มด้วย พวกที่ประกอบด้วยเซลล์เดียว เซลล์ทั้งเซลล์ทำหน้าที่เป็นแกมีทหรือเซลล์สืบพันธุ์ แม้ในพวกที่อยู่เป็นกลุ่มก็จะมีเซลล์เพียง 1 เซลล์ ทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ยกเว้นในสาหร่ายบางชนิดเช่นสาหร่ายสีน้ำตาลสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายไฟที่อวัยวะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ อาจมีหลายเซลล์

4. ไซโกท (zygote) ของสาหร่ายยังไม่มีการพัฒนาเป็นเอมบริโอ (embryo) (ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, 2537)

2.2 ลักษณะทั่วไปของเซลล์สาหร่าย (shape)

2.2.1 เซลล์เดียว (unicellular) ประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว

2.2.2 กลุ่มเซลล์ (colony) ประกอบด้วยเซลล์หลายๆเซลล์มาอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

2.2.3 เส้นสาย (filament) รูปร่างของสาหร่ายชนิดนี้เกิดจากเซลล์หลายเซลล์มาต่อกันเป็นเส้นมี 2 แบบคือ เส้นสายไม่แตกแขนง (unbranched filament) แบบนี้เกิดจากเซลล์เรียงต่อกันเป็นสายอาจจะยาวหรือสั้นก็ได้ ไม่มีการแตกแขนงมีลักษณะคล้ายพืช แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้น และใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากมีเซลล์เดียว ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจเป็นเส้นสายหรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง การจัดจำแนกสาหร่ายแบ่งตามรูปร่างลักษณะภายนอกรวมทั้งรงควัตถุที่พบภายในเซลล์เช่น สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน น้ำตาล และสีแดง สาหร่ายสามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและอาศัยเพศ สาหร่ายสามารถอาศัยอยู่ในน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ปัจจุบันมีการนำสาหร่ายมาทำเป็นอาหารมนุษย์และยังใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำปุ๋ย เป็นต้น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena, Oscillatoria, Nostoc* ใช้เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนในนาข้าวเพราะสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในอากาศให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขนาดของสาหร่ายมีความแตกต่างกันมาก ตั้งแต่เซลล์เดียวที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์จนถึงสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลที่มีความยาวหลายร้อยฟุต ตัวอย่างเช่น สาหร่ายสีเขียว *Chlorella valgaris* ซึ่งมีเซลล์เดียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 3.6-8.1 ไมครอน ส่วนสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นทัลลัสยาวได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล *Macrocystis pyrifera* (giant kelp) มีความยาวถึง 700 ฟุต ซึ่งนับว่าเป็นสาหร่ายที่ยาวที่สุดในโลก (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.3 การจัดจำแนกหมวดหมู่ของสาหร่าย

ส่วนใหญ่ยึดตามวิธีของ (Bold H.C and Wynne, 1978) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 9 กลุ่ม โดยกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายพืช ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (Chlorophyta) สาหร่ายไฟ (Charophyta) สาหร่ายสีน้ำตาล (Phaeophyta) สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (Chrysophyta) และ สาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) กลุ่มที่มีลักษณะโครงสร้างเซลล์คล้ายแบคทีเรีย ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Cyanophyta หรือ Cyanobacteria) กลุ่มที่มีลักษณะคล้ายสัตว์จะมีแส้เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวยูกลีนอยด์ (Euglenophyta) ไดโนแฟลกเจลเลต (Dinophyta) และคริปโตโมแนดส์ (Cryptophyta) เป็นต้น ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำจืดส่วนใหญ่ที่พบโดยทั่วไปมี 5 ดิวิชัน ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละดิวิชัน วงศ์ และสกุล ที่เด่นดังต่อไปนี้ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.3.1.ดิวิชัน Cyanophyta ซึ่งแบ่งเป็นหลายวงศ์ แต่ที่เด่นมีดังนี้

2.3.1.1 วงศ์ Chroococcaceae ที่พบมากได้แก่

สกุล *Microcystis* มีรูปร่างของเซลล์เป็นรูปร่างทรงกลม รี หรือยาว เซลล์อยู่กันเป็นกลุ่ม กลุ่มรูปร่างไม่แน่นอน อาจเป็นวงแหวน เลขแปด กลม เบี้ยว หรือรูปอื่นๆ ติดกับเซลล์อื่นๆ ด้วยวุ้นใสมีจำนวนเซลล์เป็นจำนวนมาก กลุ่มเซลล์ลอยน้ำเป็นอิสระ

สกุล *Chroococcus* ลักษณะของกลุ่มเซลล์รูปร่างกลมหรือรีประกอบด้วย 2-16 เซลล์ หรือมากกว่า แต่ละเซลล์มีเมือกหุ้มอย่างชัดเจน ไม่พบอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ เซลล์มีรูปร่างครึ่งวงกลมขณะเกิดการแบ่งตัวในลักษณะ 3 ระนาบ

2.3.1.2 วงศ์ Merismopediaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Coelomoron* ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยเซลล์มีรูปร่างรี หรือรูปไข่ อยู่รวมกันเป็นกลุ่มในแนวรัศมี โดยโคโลนี ประกอบด้วยเซลล์ 1-2 แถว มีเมือกหุ้มบางๆ ไม่มีสี

สกุล *Merismopedia* เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม หรือรี มีลักษณะเป็นแผ่นแบนจำนวนตั้งแต่ 4-16 เซลล์ หรือมากกว่าฝังอยู่ในเมือกก่อนการแบ่งเซลล์ เซลล์จะมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่หลังจากแบ่งเซลล์แล้ว เซลล์จะมีลักษณะค่อนข้างกลมหรือครึ่งวงกลม มีการแบ่งเซลล์ในสองทิศทางโดยตั้งฉากกับระนาบของกลุ่มเซลล์

2.3.1.3 วงศ์ Oscillatoriaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Planktolyngbya* ลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นเส้นสายมีลักษณะเหยียดตรง บางชนิดอาจเป็นเกลียวแบบสม่ำเสมอจนถึงเกลียวแบบไม่สม่ำเสมอ เส้นสายจะอยู่เดี่ยว ๆ มีเมือกบาง ไม่มีสีห่อหุ้มโดยรอบและยาวเกินปลายของเส้นสายออกไป

พหุบน ปณฺ ฑิโต ชีวา

สกุล *Oscillatoria* ลักษณะรูปร่างของเซลล์ทรงกระบอก ความกว้างของเซลล์มากกว่าความยาวเล็กน้อยหรือมีความยาวเท่ากับความกว้างก็ได้ ไม่มีเฮทเทอโรซิสต์ รงควัตถุสีน้ำเงินกระจายเต็มเซลล์ เซลล์ที่อยู่ปลายสุดของสายเป็นครึ่งวงกลม หรือเรียวลงเล็กน้อย เซลล์เรียงตัวเป็นสายยาวตรงไม่แตกแขนง ไม่มีวุ้นหุ้ม ลอยอยู่ในน้ำ สาหร่ายชนิดนี้สามารถบ่งบอกคุณภาพน้ำไม่ดี มีสารอาหารในแหล่งน้ำสูง

2.3.1.4 วงศ์ Oscillatoriales มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Spirulina* ลักษณะสัณฐานวิทยา โดยทั่วไปพบเป็นเส้นสาย อาจพบหลุดเป็นท่อนเซลล์เดียวได้ เซลล์เป็นรูปทรงกระบอก ไม่มีชีท เส้นสายขดม้วน หรือแบบโค้งงอเป็นลูกคลื่น ปลายเส้นสายไม่เรียวแหลม ผนังเซลล์ระหว่างเซลล์ที่ต่อกันอาจไม่ชัดเจน ปลายเซลล์ โค้งมนไม่มีคา-ลิปตรา เป็นสาหร่ายที่มีคุณภาพทางโภชนาการสูง เช่นโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระ

2.3.1.5 วงศ์ Synechococcaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Synchococcus* ลักษณะเซลล์ลอยแบบเดี่ยวหรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม มีรูปร่างเป็นแท่งตรง หรือโค้งงอเล็กน้อยไม่มีเมือกหุ้ม หรือเมือกมีลักษณะบางไม่มีสี

2.3.1.6 วงศ์ Pseudanabaenaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Pseudanabaena* ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกต่อกันเป็นเส้นสาย ปลายเส้นสายมีรูปร่างมน มีถุงก๊าซอยู่ภายในตรัยโคม ไม่มีเมือกหุ้ม ตรัยโคมไม่มีการแตกแขนง บางครั้งผนังเซลล์มีการคอดเว้าบริเวณรอยต่อของเซลล์

สกุล *Jaaginema* ลักษณะสัณฐานวิทยา เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอก ปลายเส้นสายมีรูปร่างมน ไม่มีเมือกหุ้ม ไม่มีการแตกแขนง

2.3.1.7 วงศ์ Rivulariaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Calothrix* ลักษณะของเซลล์เป็นเส้นสายไม่แตกแขนง เส้นสายมีเพียง 1 เซลล์ รูปร่างกลมหรือค่อนข้างกลม เส้นสายมีลักษณะเรียวยาว จากฐานถึงปลายมีเยื่อเมือกหุ้มตลอดเส้นสาย

2.3.1.8 วงศ์ Comomtiellaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Komvophoron* มีลักษณะเป็นเส้นสาย ส่วนมากไม่แตกแขนง อาจจะมีบางพวกที่มีผนังเซลล์หนาจะมีการแตกแขนงบ้างในเส้นสาย ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดความกว้างสม่ำเสมอตลอดสาย สืบพันธุ์โดยการสร้างฮอร์โมโกเนียมและขาดออกเป็นท่อน ๆ ไม่มีการสร้างอะคินีทหรือเฮทเทอโรซิสต์เคลื่อนไหวโดยไม่ใช้แฟลกเจลลัม

2.3.1.9 วงศ์ Mastigocladaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Mastigocladus* ลักษณะเป็นเส้นสายซึ่งประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวแถวเดียวแตกแขนงรูปตัววีแขนงจะออกมาจากเส้นสายเดิมทางด้านข้างด้านเดียวมีขนาดสั้น ๆ และมีการแตก

แขนงแท้และไม่แท้จริงเฮทเทอโรซีสอยู่ภายในเส้นสายมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ พบอยู่ในน้ำจืดตามผิวโคลนก้นบ่อน้ำ

2.3.1.20 วงศ์ Phormidiaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Planktothrik* ลักษณะเป็นเส้นสายที่มักจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มสานกันเป็นแผ่น เซลล์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือทรงกระบอกเรียงต่อกันมีความกว้างของเซลล์สม่ำเสมอตลอดสาย

2.3.1.21 วงศ์ Scenedesmaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Tetrastrum* ลักษณะเซลล์มีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมจำนวน 4 เซลล์เรียงตัวกันโดยเอา 2 ด้าน มาแตะกันผนังเซลล์ด้านใน 2 ด้าน ด้านในของเซลล์ข้างเคียงจนเกิดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ผนังเซลล์ด้านนอกที่ไม่แตะกับเซลล์อื่นจะกลมมนและมีหนามสั้นๆ 3-4 อัน โคโลนีมีสารเมือกหุ้ม มีคลอโรพลาสต์รูปจานจำนวน 1-4 อัน อยู่บริเวณขอบเซลล์

2.3.2.ดิวิชัน Bacillariophyta ซึ่งแบ่งเป็นหลายวงศ์ แต่ที่เด่นมีดังนี้

2.3.2.1 วงศ์ Melosiraceae หลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Aulacoseira* ลักษณะสัณฐานวิทยา ฝาของเซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและอยู่รวมกันเป็นเส้นสาย อาจตรง โค้งงอ หรือขดกลม ผิวของฝาเรียบหรือเป็นรูเล็กๆกระจัดกระจายเรียงกันเป็นแถวตรงหรือโค้ง มีหนามซึ่งยาวแตกต่างกันอยู่รอบขอบฝาของเซลล์

2.3.2.2 วงศ์ Naviculaceaeหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Gyrosigma* ลักษณะฝาของเซลล์มีรูปร่างเป็นตัวเอสหรือโค้งโดยมีปลายมน ราฟี เป็นรูปตัวเอสและบางคล้ายเส้นด้าย มีช่องว่างตรงกลางขนาดเล็ก รูปร่างกลมหรือค่อนข้างเป็นรูปไข่ มีลวดลายบนฝาพาดไปตามยาว

สกุล *Cymbella* ลักษณะฝาของเซลล์มีรูปร่างเป็นครึ่งวงกลม คล้ายเรือจนถึงรูปร่างโค้ง ปลายเซลล์กลมมนหรือโป่งออกขอบของราฟี เป็นเส้นตรงหรือโค้งเล็กน้อย โดยส่วนปลายของราฟียาวจรดด้านล่าง และปลายย้อนไปด้านบนพื้นที่กลางเซลล์ไม่มี หรือเป็นวงกลมก็ได้ ลวดลายบนฝาของเซลล์ส่วนมากเป็นรูเล็กๆไม่เรียงตัวในแนวรัศมี

สกุล *Stauroneis* ลักษณะของเซลล์อาจอยู่เดี่ยวๆหรือเป็นกลุ่มเซลล์เล็กๆ รูปร่างฝาของเซลล์คล้ายหอกจนถึงรูปไข่ ปลายเซลล์กลมมนหรือโป่งเป็นกระเปาะ ราฟีอยู่ตรงกลางคล้ายเส้นด้าย ลวดลายบนฝาเซลล์เป็นรูขนาดเล็กขนานกันหรือเรียงตัวกันในแนวรัศมี มีปุ่มตรงกลางเซลล์ยาวต่อไปจนถึงขอบฝาเซลล์ทั้งสอง

สกุล *Navicula* ลักษณะรูปร่างของเซลล์มีทั้งรูปรี รูปคล้ายเรือ รูปกลมมนหรือทรงกระสวย ปลายทั้งสองข้างค่อนข้างมน เซลล์มีความยาวมากกว่าความกว้าง เซลล์มีสีเหลืองทอง เซลล์จะอยู่เดี่ยวๆล่องรอยเป็นอิสระสามารถใช้บ่งบอกคุณภาพน้ำค่อนข้างดี

สกุล *Pinnularia* ลักษณะของเซลล์มีลักษณะเรียวแหลมไปจนถึงรูปไข่ ปลายเซลล์กลมมนหรือเป็นกระเปาะฝาด้านบนเว้าแบบเลนส์เว้าและพบโครงสร้างรูปเกือกม้าที่บริเวณด้านหนึ่งของกลางเซลล์ ส่วนฝาด้านล่างเว้าและตรงกลางมีรอยเว้าทำให้เซลล์ไม่เท่ากัน ส่วนลายบนฝามีหลายแถวและกระจายเป็นรัศมี ส่วนปลายของราฟีเป็นร่องแยกและโค้งไปถึงฝาอีกด้านของเซลล์

2.3.2.3 วงศ์ Thalassiosiraceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Cyclotella* เซลล์มีลักษณะเป็นวงกลมแบน บริเวณขอบของฝาจะไม่มีหนามผิวหน้าของฝาจะมีลวดลายในบริเวณรอบนอก ส่วนกลางฝาอาจไม่มีลวดลายหรือเป็นรูเล็กๆ

2.3.2.4 วงศ์ Fragilariaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Synedra* ลักษณะฝาของเซลล์ตรงหรือโค้ง ส่วนปลายเซลล์มนหรือโปร่งเป็นกระเปราะ มีราฟีอยู่ที่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง มีลักษณะเป็นซี่ขนาดใหญ่ มีลวดลายบนฝาเซลล์ตามขวางขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กและไม่มีพื้นที่กลางเซลล์

สกุล *Diatoma* ลักษณะของเซลล์ต่อกันเป็นสายตรงหรือแบบซิกแซก เซลล์มีรูปร่างเป็นสีเหลี่ยมด้านเท่าจนถึงสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายกระดูก ลวดลายบนฝาเป็นซี่สลับกับเส้นบางซึ่งเกิดจากรูเล็ก ๆ เรียงกันเป็นแถวทั้งลายตามขวางและตามยาวร่องกลางเป็นเส้นใสและแคบ มีอินเตอร์คาลารีแบนด์ 1-2 วง คลอโรพลาสต์ รูปไข่ขนาดเล็กจำนวนมาก

2.3.2.5 วงศ์ Bacillariaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Nitzschia* ลักษณะฝาของเซลล์มีลักษณะตรงหรือโค้งส่วนปลายเซลล์มนหรือโป่งเป็นกระเปาะ มีราฟีอยู่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง มีลวดลายบนฝาเซลล์ตามขวางขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กและไม่มีพื้นที่กลางเซลล์

2.3.3.ดิวิชัน Euglenophyta ซึ่งแบ่งเป็นหลายวงศ์ แต่ที่เด่นมีดังนี้

2.3.3.1 วงศ์ Euglenaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Phacus* ลักษณะของเซลล์รูปร่างเกือบกลม โดยจะกว้างด้านบนแต่ท้ายเรียวเมื่อมองด้านข้างเซลล์มีลักษณะแบนคล้ายใบไม้ ภายในเซลล์มีเพลลิเคิลเป็นสัน เซลล์บิดเป็นเกลียว มีแฟลเจลลัม 1 เส้น

สกุล *Trachelomonas* ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ มีผนังเซลล์หนาสีน้ำตาล เซลล์มีอายสปอตสีแดง มีแฟลเจลลัม 1 เส้น

สกุล *Euglena* ลักษณะของเซลล์รูปร่างยาวเรียว เซลล์สีเขียว มีอายสปอตสีแดง

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บางชนิดเซลล์มีสีแดงเนื่องจากมีรงควัตถุพวกฮีมาโตโครม มีแฟลเจลลัม 2 เส้นยาวไม่เท่ากัน เส้นที่หนึ่งเป็นเส้นสั้นอยู่ในกัลเลท อีกเส้นหนึ่งมีความยาวมากกว่ายื่นออกนอกเซลล์คลอโรพลาสต์รูปไข่หลายอัน มีพาราไมลัมเซนเตอร์ลักษณะคล้ายจานแบนอยู่ในเซลล์

2.3.4.ดิวิชัน Chlorophyta ซึ่งแบ่งเป็นหลายวงศ์ แต่ที่เด่นมีดังนี้

2.3.4.1 วงศ์ Selenastraceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Kirchneriella* เซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จำนวน 2 4 8 16 หรือ 32 เซลล์ เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ กลุ่มเซลล์มีรูปทรงกลม หรือรี รูปร่างไม่แน่นอน มีเมือกหุ้มกลุ่มเซลล์ เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกยาวอาจกว้างหรือแคบ มีลักษณะโค้ง หรือรูปพระจันทร์เสี้ยว รูปร่างคล้ายตัวเอส หรือบิดเป็นเกลียว

สกุล *Monoraphidium* เซลล์อยู่เดี่ยวๆรูปร่างแบบกระสวย บางชนิดปลายทั้งสองแหลมเป็นเกลียวและบิดบางชนิดปลายมน ผนังบางและมักจะไม่มีเมือกหุ้ม มีคลอโรพลาสต์อยู่ข้างเซลล์

สกุล *Ankistrodesmus* ลักษณะเป็นเซลล์เดียวหรือรวมเป็นกลุ่มเซลล์หลวม ๆ ไม่มีเมือกหุ้ม เซลล์เป็นรูปพระจันทร์เสี้ยวจนถึงรูปทรงกระสวยปลายเรียวแหลมเซลล์อาจตรงหรือโค้งแบบตัวเอส ส่วนปลายคอยๆเรียวลง คลอโรพลาสตมี 1 อันอยู่ด้านข้างเซลล์และอาจพบหรือไม่พบไพรีนอยด์ในเซลล์ก็ได้

2.3.4.2 วงศ์ Botryococcaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Botryococcus* เซลล์อยู่กันเป็นกลุ่ม เซลล์ค่อนข้างกลม หรือรูปร่างไม่แน่นอน ประกอบด้วยเซลล์รูปไข่หรือรูปไข่แบนมีไพรีนอยด์ 1 อัน มีหยดน้ำมันจำนวนมากในกลุ่มเซลล์

2.3.4.3 วงศ์ Desmidiaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Closterium* เซลล์เดียวแต่ละเซลล์ประกอบไปด้วย 2 เซมิเซลล์ ไม่มีรอยคอดเซลล์ยาวโค้งงอปลายเรียว ยาว 2 - 15 เท่าของความกว้าง ผนังเซลล์ส่วนมากไม่มีสี เรียบหรืออาจพบลวดลายบ้าง ในแต่ละเซมิเซลล์มีคลอโรพลาสต์เป็นแนวยาวตามความยาวของเซลล์ มีไพรีนอยด์หลายเม็ดเรียงเป็นแถวเดี่ยวบนแผ่นคลอโรพลาสต์ บริเวณปลายยอดมีถุงแวคคิวโอที่ภายใน สาหร่ายชนิดนี้สามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ ถ้าพบแสดงว่าน้ำคุณภาพค่อนข้างไม่ดี

สกุล *Cosmarium* รูปร่างของเซลล์เป็นทรงกลม รูปไข่ หรือรูปเหลี่ยม มีรอยเว้าคลอดลึกตรงกลางเซลล์ เซลล์อยู่เดียวๆอาจมีวุ้นหุ้ม เซลล์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกันมองดูคล้ายสองเซลล์ติดกัน ความยาวของเซลล์มากกว่าความกว้างเล็กน้อย มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง คลอโรพลาสต์ 2 อันอยู่คนละข้างของเซลล์ ผนังเซลล์ด้านนอกขรุขระหรือเรียบ สามารถใช้บ่งบอกคุณภาพน้ำได้ ถ้าพบแสดงว่าคุณภาพน้ำค่อนข้างดีถึงดี

สกุล *Hyalotheca* ลักษณะของเซลล์ทรงกระบอก ค่อนข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผนังเซลล์เรียบ คลอโรพลาสต์แบบแกนยาว มีไพรีนอยด์ 1 อัน เซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวแต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ มีรอยคอดเว้าระหว่างเซมิเซลล์เล็กน้อย ด้านบนของเซลล์เรียบแบนและมุมของเซลล์มีลักษณะมน เซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสายยาว โดยมีเมือกหุ้ม

สกุล *Micrasterias* ลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว ขนาดใหญ่ แบนรี ค่อนข้างกลม แต่ละเซลล์ประกอบด้วย 2 เซมิเซลล์ มีรอยคอดลึกด้านข้างระหว่างเซมิเซลล์ แบ่งออกเป็น 3 พู ด้านบน 1 พู และด้านข้าง 2 พู ซึ่งอาจแบ่งย่อยไปอีก พูด้านบน แผ่แบนที่ปลายยอดบางครั้งอาจจะมีปุ่มยื่นยาวออกมา คลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์ ซึ่งรูปร่างของคลอโรพลาสต์เปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของเซมิเซลล์

สกุล *Spondylosium* ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างคล้ายคอสมาเรี่ยม บริเวณยอดจะติดกันทำให้เกิดลักษณะเป็นเส้นสายค่อนข้างยาวและบิดเล็กน้อย ส่วนยอดของเซลล์จะไม่มีรยางค์ยื่นออกมา แต่ละเซลล์จะเห็นรอยคอดชัดเจน ผนังเซลล์มักจะไม่มีตุ่มหรือหนาม

สกุล *Staurastrum* ลักษณะของเซลล์รูปร่างสมมาตรแบบรัศมี มักจะอยู่เดี่ยวๆ มีรอยคอดตรงกลางระหว่าง 2 เซมิเซลล์ เมื่อมองจากด้านบนเซมิเซลล์มีรูปทรงแบบรูปไข่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู ปลายมนหรือเป็นมุมแหลม อาจมีหรือไม่มีหนาม หรือเป็นรยางค์กลวง และที่ปลายรยางค์มีหนามตั้งแต่ 2 หนาม หรือมากกว่ามองจากด้านข้างมักจะมีลักษณะ 3 แฉก ผนังเซลล์มีรูหรือเรียบ หรือมีหนามมีเม็ดหรือซี่เล็กๆเรียงอยู่มักจะเรียงกันแบบสมมาตร

2.3.4.4 วงศ์ Gonatozygaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Gonatozygon* ลักษณะของเซลล์ยาวประกอบไปด้วย 2 เซมิเซลล์ เซลล์รูปทรงกระบอก หรือรูกระสวย ไม่มีรอยคอด ปลายของเซลล์โค้งงอหรือตัดตรง ความยาว 10 - 20 เท่าของความกว้าง อาจพบต่อกันเป็นเส้นสายโดยใช้ส่วนปลายเซลล์ยึดเกาะกัน ผนังเซลล์เรียบ หรืออาจมีปุ่ม หรือมีหนามแหลม คลอโรพลาสต์เป็นแถบยาว คล้ายริบบิ้น มีไพรีนอยด์ 3-4 อัน

2.3.4.5 วงศ์ Scenedesmuceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Scenedesmus* เซลล์อยู่รวมกันเป็น 2 4 8 16 32 เซลล์ ส่วนมากมักพบเป็นทวีคูณของ 2 เซลล์ กลุ่มเซลล์แบนอาจพบมีลักษณะบิดเบี้ยวบ้าง มีลักษณะโค้ง รูปไข่แบนหรือรูปไข่หรือทรงกระบอก การเรียงตัวอาจเป็น 1 หรือ 2 แถว โดยใช้ด้านข้างเซลล์เชื่อมกัน ผนังเซลล์เรียบหรือมีลักษณะคล้ายเม็ดเล็กๆติดอยู่ ด้านข้างพบลักษณะที่เป็นฟัน หรือหนามเล็กๆ

สกุล *Coelastrum* ลักษณะของกลุ่มเซลล์มีลักษณะเป็นทรงกลม กลวง อาจมีบางกลุ่มเซลล์เป็นรูปหลายเหลี่ยมหรือพีระมิด กลุ่มเซลล์ประกอบด้วยเซลล์ 4-8-16-32 เซลล์ หรือมากกว่านั้น เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกลม หรือรูปไข่หรือที่ระมิดอยู่ติดกันหรืออัดแน่นระหว่างเซลล์มีท่อเล็กๆเชื่อมให้เซลล์อยู่รวมกันจึงเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ขึ้น

2.3.4.6 วงศ์ Tetrasporaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Tetraspora* ลักษณะทัลลัสเป็นเมือก ลักษณะคล้ายลูกบอลลูน ภายในมีเซลล์ซึ่งฝังอยู่ในเมือกหนา โดยจะอยู่เป็นคู่ หรือ 4 เซลล์ อยู่ใกล้กับผนังของทัลลัส มีการสร้างซีเรียแบบเทียม เซลล์ส่วนใหญ่ค่อนข้างกลม

2.3.4.7 วงศ์ Hydrodictyceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Pediastrum* ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ปลายเซลล์เป็นแฉก เซลล์แบน เซลล์รอบนอกกลุ่มมีรูปร่างต่างจากเซลล์ที่อยู่ภายใน และที่มุมเซลล์อาจมีหนามสั้นๆยื่นออกไป กลุ่มมีจำนวนเซลล์ตั้งแต่ 4 ถึง 128 เซลล์ บ่งบอกคุณภาพน้ำค่อนข้างไม่ดี มีสารอาหารสูง

สกุล *Tetraedron* ลักษณะรูปร่างของเซลล์แบนหรือเป็นรูปดาวสามแฉกสี่แฉก มุมของเซลล์อาจแตกคล้ายส้อม ผนังเซลล์บางเรียบหรืออาจมีตุ่มนูนขึ้น เมื่อยังอ่อนมีนิวเคลียส 1 อัน เมื่อเจริญเต็มที่นิวเคลียสอาจมี 2 4 8 อัน คลอโรพลาสต์อาจเป็นแผ่นเดียวหรือหลายแผ่นอยู่เต็มเซลล์ มีหรือไม่มีไพรีนอยด์ เซลล์อยู่เดี่ยวๆ บ่งบอกคุณภาพน้ำปานกลางมีสารอาหารปานกลาง

2.3.4.8 วงศ์ Volvocaceae หลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Pandorina* ลักษณะรูปร่างของเซลล์คล้ายชมพู่สาแหรก หรือกลมมีแฟลกเจลลา 2 เส้น มีโครงสร้างรับแสง 1 อัน เซลล์มีขนาดเท่าๆกันทุกเซลล์ในกลุ่ม คลอโรพลาสต์เป็นก้อนรูปถ้วย มีไพรีนอยด์ 1 อันหรือหลายอัน เซลล์อยู่กันเป็นกลุ่มในวุ้นรูปทรงกระบอกมีประมาณ 4 8 6 หรือ 32 เซลล์ เรียงตัวกันเป็นรูปทรงกลมมีช่องว่างในเซลล์อัดกันแน่นด้านนอก วุ้นที่หุ้มรอบนอกหนาใสมองเห็นได้ชัดเจน เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลลา

สกุล *Volvox* ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์มีขนาดใหญ่ รูปร่างกลม หรือค่อนข้างกลม มีจำนวนเซลล์ตั้งแต่หลายร้อยเซลล์จนถึงหลายพันเซลล์ มีไพรีนอยด์ 1 อันหรือมากกว่า มีแฟลเจลลัม 2 เส้น มีคอนแทร็กไทล์แวคิวโอลหลายอันและอาจมีหรือไม่มีเส้นใยเชื่อมเซลล์ต่อเซลล์ มีกลุ่มเซลล์ลูกจำนวนมากอยู่ภายในกลุ่มเซลล์แม่

สกุล *Eudorina* ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์มี 16-32 เซลล์ เรียงตัวกันอยู่ในเมือกหุ้มเซลล์มีรูปร่างกลม รูปไข่ โดยแต่ละเซลล์แยกและมีช่องว่างระหว่างกันไม่เรียงชิดติดกัน อาจมีหรือไม่มีสายใยยึดระหว่างเซลล์ในไซโตพลาสซึม มีแฟลเจลลัม 2 เส้นยาวกว่าขนาดของเซลล์ คลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วย หรือรูปร่างไม่แน่นอน มีอายสปอตและคอนแทรกไทล์แวคิวโอล 2 อันอยู่ที่ส่วนหน้าของเซลล์ สีของเซลล์เขียวอ่อน

2.3.4.9 วงศ์ Chlorellaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Dictyosphaerium* ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์ประกอบด้วย 4, 8, 16, 32 หรือ 64 เซลล์ มีรูปร่างกลม รูปไข่ หรือรูปร่างคล้ายไต จากกลุ่มเล็กจะรวมกลุ่มเป็นกลุ่มใหญ่ กลุ่มเซลล์ยึดกันด้วยเส้นสายบาง ๆ มีคลอโรพลาสต์ รูปร่างคล้ายถ้วย 1-2 อัน และมีไพรีนอยด์ 1 อัน

สกุล *Chlorella* เซลล์มีขนาดเล็ก รูปร่างทรงกลมหรือรูปไข่ หรืออาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเซลล์เล็กๆซึ่งมีรูปทรงไม่แน่นอน มีคลอโรพลาสต์ 1 อัน อยู่ด้านข้าง รูปถ้วยหรือเป็นแผ่นแบน

2.3.4.10 วงศ์ Oocystaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Crucigeniella* ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 4 เซลล์ อยู่เป็นกลุ่มเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ตรงกลางกลุ่มเซลล์อาจมีช่องวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มีเมือกหุ้มกลุ่มเซลล์ เซลล์เป็นรูปทรงรี หรือรูปไข่

สกุล *Nephrocytium* ลักษณะเป็นกลุ่มเซลล์ประกอบด้วย 2 4 8 หรือ 16 เซลล์โดยอยู่รวมกันในผนังเซลล์ของเซลล์แม่ มีลักษณะของเซลล์เป็นรูปไข่ รูปไข่แบน รูปกระสวย รูปไตหรือครึ่งวงกลม มีคลอโรพลาสต์อยู่ข้าง 1 อันและมีไพรีนอยด์ 1 อัน

สกุล *Pesudococomyxa* เซลล์มีรูปร่างแบบรูปไข่หรือบิดเบี้ยวเล็กน้อยบางชนิดมีตุ่ม (nodule) อยู่บริเวณขั้วบนและล่างของเซลล์ บางชนิดก็ไม่มีคลอโรพลาสต์อยู่ข้างเซลล์เป็นแผ่นอาจจะมี 1 แผ่นหรือมากกว่าอาจมีหรือไม่มีไพรีนอยด์สาหร่ายในสกุลนี้อาจพบอยู่ในน้ำและดินอาจจะพบเป็นเซลล์เดี่ยวหรือเป็นกลุ่มถ้าเป็นกลุ่มมักเกิดจากการสร้างออโตสปอร์หลายรุ่นแต่อยู่ในผนังเซลล์ของเซลล์แม่ร่วมกัน

2.3.4.11 วงศ์ Chlamydomonadaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Chlamydomonas* ลักษณะเซลล์มีรูปร่างกลม หรือ รูปไข่ หรือ ทรงกระบอกสั้น ๆ ด้านข้างมองคล้ายลูกแพร์ มองจากด้านบนเป็นทรงกลมหรือแบน ปกติมีแฟลกเจลลัม 2 เส้นแฟลกเจลลัม มักจะยาวกว่าเซลล์

สกุล *Haematococcus* ลักษณะรูปร่างของเซลล์เป็นรูปทรงกลม มีเปลือกหุ้มภายในมีคลอโรพลาสต์มีเม็ดสีส้ม มีไพรีนอยด์อยู่ 1 อันตรงกลางคลอโรพลาสต์ มีแฟลกเจลลาเท่ากัน 2 เส้น เวลาเข้าเกราะจะมีสีแดงส้ม เป็นสาหร่ายที่สร้างสารสี

2.3.4.12 วงศ์ Zygnemataceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Spirogyra* เป็นสาหร่ายสีขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นเส้นสายค่อนข้างยาว ไม่มีการแตกแขนง เซลล์รูปทรงกระบอก ผนังเซลล์มีเมือกหุ้ม มีคลอโรพลาสต์บิดเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้นเริ่มจากปลายเซลล์ด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง บนคลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์หลายอันเรียงเป็นแนวระยะห่างเท่ากัน

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีว

2.3.5. ดิวิชัน Chrysophyta ซึ่งแบ่งเป็นหลายวงศ์ แต่ที่เด่นมีดังนี้

2.3.5.1 วงศ์ Centritractaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Centritractus* ลักษณะเซลล์มีรูปร่างไข่จนถึงทรงกระบอกเซลล์ตรงหรือโค้งเล็กน้อยและมีส่วนเป็นหนามอยู่แต่ละมุมมีคลอโรพลาสต์ข้างเซลล์หลายอันพบหยดน้ำมันในเซลล์ด้วย สีของเซลล์เขียว จะเป็นเซลล์ที่อยู่เดี่ยว ๆ

2.3.5.2 วงศ์ Pleurochloridaceae มีหลายสกุลที่พบมากได้แก่

สกุล *Isthmochloron* ลักษณะเป็นเซลล์อยู่เดี่ยวๆ รูปร่างแบนและเป็นสี่เหลี่ยมแต่ละมุมจะแตกเป็นง่ามหลายง่าม มีผนังเซลล์บางและเรียบ มีคลอโรพลาสต์อาจอยู่ข้างเซลล์หรืออยู่แบบเต็มเซลล์ อาจมีหรือไม่มีไพรีนอยด์

2.4 ประโยชน์ของสาหร่าย

2.4.1 เป็นแหล่งอาหาร

ชาวญี่ปุ่นและชาวจีนเป็นชาติแรกๆ ที่เห็นคุณค่าของสาหร่าย อาหารญี่ปุ่นมีเมนูอาหารที่ใช้มีสาหร่ายมากมาย ชาวจีนเรียกสาหร่ายทะเลว่า “ จีฉ่าย ” นอกจากปรุงอาหารแล้วสมัยนี้ยังนิยมนำมาทำเป็นขนมปรุงรสด้วยซอสถั่วเหลือง น้ำตาล พริกไทย หรือเครื่องปรุงรสต่างๆ สาหร่ายเหล่านี้จะเป็นชนิด *Porphyra* sp.ชาวญี่ปุ่นเรียกว่า โนริ (nori) เป็นสาหร่ายสีแดง ส่วนสาหร่ายชนิด *Laminaria* sp. เป็นสาหร่ายสีน้ำตาลมีคุณค่าสารอาหารของสาหร่าย สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายทะเล ทั้งชนิดแผ่นกลมไม่ปรุงรสที่นิยมนำมาประกอบอาหาร และสาหร่ายปรุงรสชนิดบรรจุซองโดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามีโปรตีนระหว่าง 10-40 กรัมต่อสาหร่าย 100 กรัม (1 ขีด) ซึ่งถ้าเทียบกับอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ดี เช่น เนื้อสัตว์ที่นำมาทำแห้ง เช่น เนื้อวัวอบแห้ง หมูแผ่น กุ้งแห้ง ซึ่งจะมีโปรตีนปริมาณ 50-11- 60 กรัมตามลำดับก็จัดได้ว่าสาหร่ายทะเลแห้งชนิดแผ่นสามารถ เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน จีฉ่ายที่นิยมนำมาประกอบอาหารมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสาหร่ายชนิดปรุงรส นอกจากนี้คุณค่าใยอาหาร (dietary fiber) พบว่ามีสูงตั้งแต่ 27-41 กรัมต่อสาหร่าย 100 กรัม นอกจากนี้สาหร่ายยังมีไขมัน แป้ง และน้ำตาลจัดว่าน้อยมาก ซึ่งน่าจะเหมาะกับผู้ที่ควบคุมน้ำหนัก หรือผู้ที่มีไขมันในเลือดสูง หรือเด็กที่ชอบกินจุบจิบ เช่น ขนมกรุบกรอบที่มีแป้ง น้ำตาล และไขมันสูง นอกจากนี้สาหร่ายยังมีโปรตีน และให้พลังงานโดยรวมอยู่ระหว่าง 382-366 กิโลแคลอรีต่อสาหร่าย 100 กรัม ดังนั้นถ้ากินสาหร่ายปรุงรส 1 ซอง ซึ่งบรรจุสาหร่ายขนาด 8.5 ซม. X 3.0 ซม. 4 แผ่น จะได้พลังงานไม่ถึง 5 กิโลแคลอรี นอกจากนี้

มีการนำสาหร่ายน้ำจืดนำมาอัดเม็ดบรรจุขวดขาย เช่น สาหร่ายเซลล์เดียว *Chlorella* และ สาหร่าย *Spirulina* หรือสาหร่ายเกลียวทอง สาหร่ายพวกนี้จะถูกเลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่มีส่วนผสมเลค-ซิทิน (lecithin) มีรายงานการวิจัยว่า สไปรูลิน่าสามารถเสริมการรักษาโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ เช่น ช่วยให้ความจำดีขึ้น ลดโคเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันสูง บำรุงผิวพรรณให้สดใส เปล่งปลั่ง และดูอ่อนเยาว์ ช่วยลดความเครียดและความไม่ สมดุลของร่างกาย ลดกรดและช่วยเคลือบแผลใน กระเพาะอาหาร ป้องกันเซลล์ตับไม่ให้ถูกทำลายจากพิษของแอลกอฮอล์ ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง ระงับการลุกลามของโรคตา อาทิเช่น ตามัว ต้อหิน ต้อกระจก เป็นอาหารเสริมสำหรับนักกีฬา ช่วยรักษารูปร่างและทรวดทรงให้สมส่วน เป็นต้น
(ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.4.2 แหล่งแร่ธาตุไอโอดีน

สาหร่ายทะเลจัดเป็นพืชที่เป็นแหล่งของไอโอดีนที่ดี แต่ปริมาณไอโอดีนมักจะแตกต่างกัน ตามแหล่งผลิตที่ต่างกันแต่อย่างไรก็ตาม มีการนำสาหร่ายทะเลหลายชนิดมาแปรรูปเป็นอาหารหรือขนมสำหรับเด็ก เช่น จีฉ่าย สาหร่ายทะเลปรุงรสหรือไม่ปรุงรสก็พบว่ามีปริมาณไอโอดีนค่อนข้างสูง การกินสาหร่ายทะเลชนิดไม่ปรุงรส เพียง 1/8 ส่วนของจีฉ่าย 1 แผ่น (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 22 ซม.) ใน 1 วัน โดยนำมาเป็นส่วนประกอบในอาหาร จะได้รับไอโอดีนเพียงพอต่อความต้องการไอโอดีนต่อวัน ในขณะที่ถ้าเป็นสาหร่ายปรุงรสบรรจุซองที่เด็กๆ ชอบรับประทาน ถ้าจะกินเพื่อให้ได้ปริมาณไอโอดีน 100 ชนิด ตามที่ร่างกายต้องการต่อวัน จะต้องกินมากกว่า 50 แผ่น ซึ่งเป็นปริมาณที่ ราคาก็ไม่แพง หาซื้อง่าย จากการวิจัยพบว่าปริมาณที่คนส่วนใหญ่กินต่อ 1 ครั้ง ถ้าเป็นสาหร่ายปรุงรสจะประมาณ 3 ซองเล็ก (12 แผ่น) หรือถ้าเป็นแผ่นใหญ่ ขนาด 9.5 ซม. X 8.5 ซม. ประมาณ 1 ซองครึ่ง (6 แผ่น) ถ้าเป็นจีฉ่ายนำมาประกอบอาหาร 1 ครั้ง ต่อแกงจืด 1 ถ้วย สำหรับ 1 คน ก็ประมาณ 1/5 แผ่นกลม ถ้าเทียบที่ปริมาณที่คนเรากินต่อวันใน 1 ครั้ง จะได้โปรตีน ใยอาหาร และไอโอดีนสูงกว่า ในขณะที่ปริมาณโซเดียมและโมโนโซเดียมกลูตาเมทต่ำกว่าสาหร่ายปรุงรสชนิดบรรจุซอง (กังสดาลย์ บุญปราบ และคณะ, 2558)

2.4.3 ใช้ในการผลิตวุ้น

สาหร่ายสามารถนำมาสกัดทำวุ้นใช้เป็นตัวค้ำจุนในการแยกโมเลกุลดีเอ็นเอด้วยกระแสไฟฟ้าเนื่องจากมีสารอะกาโรส (agarose) และสารอะกาโรเพคติน (agaropectin) เป็นองค์ประกอบซึ่งพบได้ในสาหร่ายสีแดงสกุล *Gelidium, Gracilaria, Pterocladia* และ *Acenthopeltis* นอกจากนี้สาหร่ายสีแดงสกุล *Chrondus, Gigartina, Euchuama* และ*Hypnea* ยังมีสารคาร์ราจีนินซึ่งนำมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหารเช่นไอศกรีม ผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น

2.4.4 ใช้ทำยาสมุนไพร

ในประเทศจีนตอนใต้ใช้สาหร่ายสีแดง *Digenia situplex* เป็นยาถ่ายพยาธิและรักษาโรคตาลขโมยใช้โซเดียมลามินารินซัลเฟตและฟิวคอยดินซึ่งสกัดมาจากสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นยาให้เลือดแข็งตัว สาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Sargassum* ใช้รักษาโรคคอพอกและต้มรับประทานแก้ร้อนใน ในตำรายาโบราณมีการใช้สาหร่ายสีแดง *Chondrus crispus* (Iris noss) รักษาโรคท้องร่วง โรคทางเดินปัสสาวะและลำไส้อักเสบ สาหร่ายสีแดง *Hypnea musciformis* ใช้ขับพยาธิเป็นต้น ปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นนิยมใช้สาหร่ายอัดเม็ดซึ่งทำมาจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก *Spirulina* นอกจากนี้สาหร่ายยังนำมาผลิตเป็นยาปฏิชีวนะแต่คุณค่าทางด้านนี้ของสาหร่ายยังไม่แพร่หลายมาก สาหร่ายสีเขียว *Chlorella* นำมาสกัดสารคลอเรลลิน (chlorelin) ซึ่งมีผลต่อต้านการเจริญของแบคทีเรีย ส่วนสารสกัดจากสาหร่ายทะเลสีแดง *Rhodomela larik* สาหร่ายสีน้ำตาล *Ascophyllum nodusum* มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียได้ทั้งกรัมบวกกรมลบ ส่วนสารสกัดจากไดอะตอมชนิด *Nitzchia pelea* ก็ใช้ต่อต้านแบคทีเรียได้เช่นกัน (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

2.4.5 ใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

สาหร่ายกำลังได้รับความนิยมจากนักวิจัยในการนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับอนาคต รองมาจาก ข้าวโพดและถั่วเหลือง สาหร่ายเป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม (ปิโตรเลียม) ซึ่งมีราคาสูง การใช้สาหร่ายเป็นวัตถุดิบในการสะสมไขมันไม่กระทบต่อพื้นที่หลักทางการเกษตรโดยเฉพาะกับประเทศไทย ซึ่งเป็นปัจจัยการผลิตอาหารของมนุษย์และปศุสัตว์ สร้างความมั่นคงทางอาหาร (food security) สาหร่ายมีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตพลังงานเมื่อเทียบกับชีวมวลอื่น ๆ เนื่องจากสาหร่ายมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และมีความยืดหยุ่นในการผลิตสูงกว่า ทั้งทางเศรษฐกิจและทางสิ่งแวดล้อม สำหรับประเทศไทย ประเทศไทยสามารถสร้างองค์ความรู้และวิจัย รวมทั้งการต่อยอดได้ด้วยตัวเอง อันจะเป็นการช่วยการพัฒนาชาติอย่างยั่งยืน มีนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยมิชิแกนได้คิดค้นการให้ความร้อนแก่สาหร่ายขนาดเล็กโดยใช้หม้อต้มแรงดันไอน้ำช่วยเร่งกระบวนการเกิดน้ำมันชีวภาพดิบจากเดิมที่ต้องใช้เวลานับพันๆปีให้เหลือเพียง 30 นาทีเท่านั้น จากการนำสาหร่ายมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (hydrothermal) ซึ่งเป็นการเร่งปฏิกิริยาเคมีโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูง 300 องศาเซลเซียสแก่สาหร่ายเป็นเวลา 30 – 60 นาที จนได้น้ำมันชีวภาพดิบแม้การสะสมไขมันจากสาหร่ายจะยังต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคตแต่คาดว่าน้ำมันจากสาหร่ายจะเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่คุ้มค่าเพื่อเตรียมพร้อมไว้ใช้ในอนาคตหากโลกต้องประสบภาวะขาดแคลนจนถึงจุดที่มนุษย์ทุกคนไม่มีน้ำมันดิบใช้ (คุณากร แก้วมณี, ทรงพล แพทย์

พิทักษ์, 2009) พลังงานทางเลือกหรือพลังงานสะอาดจากสาหร่ายอาจเป็นหนึ่งทางรอดที่ช่วยแก้ปัญหาเรื่องวิกฤตพลังงานน้ำมันของมนุษยชาติในอนาคตและการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจำนวนมากนอกจากจะใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนแล้วยังช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ต่างๆเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อนได้อีกด้วย นอกจากนี้สาหร่ายจัดเป็นสิ่งมีชีวิตคล้ายพืชชั้นต่ำที่มีคลอโรฟิลล์สูงจึงใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากเพื่อสังเคราะห์แสงและสาหร่ายยังมีน้ำมันปริมาณมากที่จะสกัดและนำออกมาใช้ได้ ซึ่งการนำน้ำมันออกจากสาหร่ายมีหลากหลายวิธีทั้งการใช้แรงเหวี่ยงแยกเอาน้ำมันออก การตกตะกอนแยกเอาตัวสาหร่ายออกการใช้สารละลายทางเคมีละลายเอาน้ำมันออก การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นให้สาหร่ายคลายน้ำมันและบีบอัดเพื่อให้คลายน้ำมันถ้าหากมีการเพาะเลี้ยงและการควบคุมตัวแปรรวมถึงสภาพแวดล้อมเป็นอย่างดีจะมีส่วนช่วยทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าพืชชนิดอื่น ๆ และสามารถนำมาพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกต่อไปได้ ประเทศสหรัฐอเมริกาที่เป็นประเทศนำร่องการสะสมไขมันจากสาหร่ายเพื่อมาใช้กับรถยนต์โดยสารได้สำเร็จ รวมทั้งการนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินได้อีกด้วย สาหร่ายมีประมาณสามแสนถึงสิบล้านสายพันธุ์บางสายพันธุ์มีออแกเนลล์คลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่อยู่ในเซลล์สามารถสังเคราะห์แสงได้เหมือนพืช สาหร่ายบางสายพันธุ์สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้เหมือนสัตว์ ในปี 2005 บริษัทร่วมทุนด้านชีวภาพจาก มหาวิทยาลัยโตเกียวสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Euglena* ปริมาณมากในพื้นที่กลางแจ้งได้สำเร็จเป็นรายแรกของโลก และยังผลิต *Euglena* ในลักษณะอาหารเสริมที่มีสารอาหารทั้งหมด 59 ชนิด พร้อมตั้งเป้าพัฒนาและผลิตเป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินไอพ่นเพื่อวางขายเชิงพาณิชย์ในปี 2018 น้ำมันที่กลั่นออกมาจาก *Euglena* มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องบินมากเพราะมีความหนาแน่นต่ำและคุณภาพสูง ข้อดีที่สำคัญในแง่การผลิตปริมาณมากคือ *Euglena* ไม่มีผนังเซลล์เหมือนอย่างสาหร่ายชนิดอื่น จึงทำให้ง่ายต่อการสกัดน้ำมันออกมา (Boonprab *et al.*, 2009)

ในปี 2556 รศ.ดร.ยุวดี พีรพรพิศาล อาจารย์ประจำสาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เปิดเผยว่า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยเรื่องพลังงานชีวภาพของสาหร่ายขนาดเล็ก จากบริษัทแอลวีเทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) โรงงานปูนซีเมนต์ ทั้งนี้ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมาก ซึ่งหากนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กจะทำให้เจริญอย่างรวดเร็ว และจะนำมวลของสาหร่ายมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้อีกทางหนึ่ง การที่สาหร่ายขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเพราะเซลล์ของสาหร่ายมีกรดไขมันค่อนข้างสูงกว่าเมื่อเทียบกับพืชประมาณ 20 ชนิด แต่บางชนิดอาจสูงถึง 60-70 ชนิด ซึ่งหากเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้ได้เป็นปริมาณมากและนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า เอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ในที่สุดจะได้ไบโอดีเซลใช้เป็นน้ำมันสำหรับรถยนต์หรืออาจจะใช้กระบวนการทางกายภาพโดยการเผาด้วยความร้อนสูง

ที่เรียกว่าไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อนในสภาวะไร้อากาศและได้น้ำมันก็ออกมาเช่นกัน นอกจากนี้สาหร่ายขนาดเล็กเพาะเลี้ยงง่าย ใช้สารอาหารที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เก็บเกี่ยวได้เร็วราว 2-3 สัปดาห์ น้ำเลี้ยงสาหร่ายยังสามารถเลี้ยงรุ่นต่อไปได้อีกหลายครั้ง และการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กใช้พื้นที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับการปลูกพืชน้ำมัน ทำให้เกิดการวิจัยอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศแถบทวีปอเมริกา ยุโรป ออสเตรเลีย แม้กระทั่งในเอเชีย ขณะที่ในประเทศไทยก็พบว่ามีกลุ่มนักวิจัยที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายน้ำมันหรือน้ำมันจากสาหร่ายมาเป็นระยะเวลาที่นานพอและผลวิจัยอยู่ในระดับที่นำพึงพอใจ เชื่อว่างานวิจัยดังกล่าวจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อชาวโลกในอนาคต

ในปี 2012 นักวิจัยชาวญี่ปุ่นร่วมกับ University of Tsukuba และ Tohoku University ได้ทำโครงการรีไซเคิลที่เลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในโรงงานบำบัดน้ำเสียเพื่อสะสมไขมันไปใช้ในเตาเผา โดยใช้สาหร่ายสองชนิด คือ สาหร่าย *Aurantiochytrium* ซึ่งไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ แต่สามารถผลิตสารไฮโดรคาร์บอน หรือน้ำมันได้ และสามารถดูดซึมสารอินทรีย์จากกากของเสียเพื่อเปลี่ยนให้เป็นน้ำมันได้ อีกทั้งยังขยายพันธุ์ด้วยการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิสภายใน 2-4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการขยายพันธุ์ที่รวดเร็วกว่าสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้หลายเท่า ส่วนสาหร่ายอีกชนิดหนึ่งคือ *Botryococcus braunii* ซึ่งสามารถสะสมไขมันได้จากการสังเคราะห์แสง โดยใช้อนินทรีย์สาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสเฟตที่คงเหลืออยู่ในน้ำเสียหลังบำบัดแล้ว นอกจากนี้ยังใช้ความร้อนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เตาเผาปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกเหล่านี้ประกอบกันเป็นระบบรีไซเคิลที่สามารถผลิตพลังงานใหม่ได้จากน้ำเสียในครัวเรือน ในขณะเดียวกันมีรายงานว่าบริษัทผลิตรถยนต์ในญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาระบบรีไซเคิลในโรงงาน โดยเลี้ยงสาหร่ายให้ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสะสมไขมันโดยใช้ สาหร่าย *Pseudochoricystis ellipsoidea* ในปริมาณมาก เนื่องจากสามารถสะสมไขมันที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำ (light oil) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง อีกทั้งยังพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ซึ่งใช้คลื่นไมโครเวฟจากเตาอบไมโครเวฟในการกลั่นน้ำมันให้กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (Material, 2012)

บริษัทด้านชีวภาพที่ร่วมทุนกับผู้ผลิตเครื่องจักรกลของญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นเพื่อการลดต้นทุนการผลิต สาหร่ายสายพันธุ์ใหม่ที่สร้างได้สำเร็จคือ *Enomoto* algae ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่พัฒนาจาก *Botryococcus* ที่แพร่พันธุ์เร็วกว่าสายพันธุ์เดิมถึงหนึ่งพันเท่า ถึงแม้ว่าความหนาแน่นของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ทำให้ปริมาณการผลิตลดน้อยลง แถมยังทนทานต่อแบคทีเรียที่ไม่มีประโยชน์ จึงสามารถนำไปเพาะเลี้ยงกลางแจ้งได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ต้นทุนอุปกรณ์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายเหมือนจะเป็นเพียงความฝันลมๆ แล้งๆ เมื่อไม่กี่ปีก่อน

หน้านี้ แต่ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาลและจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคตอย่างแน่นอน (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

ในด้านการพัฒนาสาหร่ายในประเทศไทยนั้นมีมานานกว่า 25 ปี ในปี 2555 ในประเทศไทย มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เช่น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้ร่วมกับ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ในการพัฒนาระบบสะสมไขมันจากสาหร่าย และสามารถสะสมไขมันดิบที่นำไปกลั่นเป็นน้ำมันสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ รวมถึงเครื่องบินได้ และมีการมีคลังเก็บสาหร่ายน้ำจืดใหญ่เป็นอันดับ 1 ใน 3 ของเอเชีย รองจากประเทศญี่ปุ่นและจีน คลังสาหร่ายเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายที่แยกจากระบบนิเวศต่าง ๆ ของประเทศไทยกว่า 1,000 สายพันธุ์ และมีระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายระดับขยายกลางแจ้งต้นแบบตั้งแต่ขนาด 100–10,000 ลิตร จากการวิจัยศึกษาสรุปได้ว่า น้ำมันที่ผลิตได้จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลได้การเพาะเลี้ยงไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก อีกทั้งยังใช้เวลาเพียง 7-14 วัน ก็สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันได้แล้ว นอกจากนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยยังมีหน่วยปรับปรุงพันธุกรรมซึ่งใช้เทคโนโลยีชีวภาพและเทคโนโลยีการดัดแปลงพันธุกรรมมาใช้ปรับปรุงพันธุกรรมของสาหร่ายให้โตเร็ว ทนต่อสภาพแวดล้อม และสะสมไขมันได้ในปริมาณมากๆ อีกด้วย นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อสะสมไขมันหลังจากหีบเอาน้ำมันออกจากสาหร่ายแล้ว กากที่เหลือที่ยังมีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนจะถูกนำไปแปรรูปเป็นอาหารปลา อีกทั้งยังมีรงควัตถุที่มีมูลค่าอย่างคลอโรฟิลด์ที่ส่งไปจำหน่ายเพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มได้ (อาภารัตน์ มหาขันธ์, 2556)

2.4.6 ด้านลดก๊าซเรือนกระจก

ในกระบวนการสังเคราะห์แสง สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นวัตถุดิบ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น ในกรณีนี้ สาหร่ายจึงเป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปรากฏการณ์โลกร้อนเช่นเดียวกันกับพืช

2.4.7 ด้านระบบนิเวศแหล่งน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายดำรงชีวิตด้วยการสังเคราะห์แสงหรือสังเคราะห์อาหารด้วยตัวเอง ในกระบวนการดังกล่าวและได้ออกซิเจนซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมากที่สุด สาหร่ายจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำอย่างสูงยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นในแหล่งน้ำ จึงจัดเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในน้ำ ซึ่งเท่ากับเป็นสิ่งมีชีวิตในลำดับแรกของห่วงโซ่อาหารในน้ำ โดยเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ ลูกกุ้งน้ำ ลูกปลา และสัตว์น้ำ ดังนั้นสาหร่ายขนาดเล็กจึงเป็นตัวตั้งต้นที่สำคัญของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศต่างๆและเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างผลผลิตปฐมภูมิ

(primary productivity) ทุติยภูมิ (secondary productivity) กับปลาและสัตว์น้ำ (ยุวดี, 2556) นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดสามารถตรึงสารไนโตรเจนได้ เช่น สาหร่ายชนิด *Anabaena* sp.สามารถนำมาใส่ในแหล่งน้ำเพื่อเพิ่มสารประกอบไนเตรทให้แก่พืชได้เช่นในนาข้าวเป็นต้น

2.4.8 ด้านบำบัดน้ำเสีย

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียน้ำนั้น สารอินทรีย์ซึ่งมากับน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ ย่อยสลายเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ฟอสเฟต ไนเตรต แอมโมเนีย และอื่นๆ สาหร่ายสามารถใช้สารอนินทรีย์เหล่านี้ ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ลดลง พร้อมกันนั้นแหล่งน้ำจะมีออกซิเจนเพิ่มจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ซึ่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้น สาหร่ายจึงเป็นสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งน้ำเสียจากชุมชนและกระบวนการอุตสาหกรรม สาหร่ายที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น สาหร่ายสีเขียวในออเดอร์ Volvoxcales และ Chlocococcales รวมทั้งสาหร่ายกลุ่มยูกลีนอยด์ เป็นต้น

2.4.9 ด้านการใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพมลพิษทางน้ำ

เนื่องจากสาหร่ายหลายชนิดสามารถเจริญในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพต่างกัน ตัวอย่างเช่น *Euglena* spp. และ *Oscillatoria* spp. สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง หรือน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวกลุ่มเดสมิดส์ เช่น *Cosmarium* spp. หรือ *Staurastrum* spp. เจริญในน้ำที่มีสารอาหารน้อยหรือน้ำที่มีคุณภาพดี ซึ่งจะนำไปสู่การใช้สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตามตรวจสอบสภาวะแวดล้อมทางน้ำได้อีกทางหนึ่ง นอกจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพหรือทางเคมีซึ่งเป็นที่รู้กันอยู่แล้ว (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546) นอกจากนี้ชนิดของสาหร่ายที่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สภาพน้ำได้ เช่น *Melosira islandica*, *Cyclotella ocellata* จะพบในแหล่งน้ำสะอาด ส่วน *Nitzchia palca*, *Microcystis aeruginosa*, และ *Aphanizomena flosaquae* จะพบในแหล่งน้ำเสีย (Peerapornpisal *et al*., 2004)

2.5 คุณภาพน้ำ (Water quality)

คุณภาพน้ำ (water quality) หมายถึง สภาวะของน้ำที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยา ในปริมาณที่ควรจะมีในแต่ละประเภทของแหล่งน้ำ (เกษม จันทร์แก้ว, 2541) คุณภาพน้ำเป็นปัญหาหลักประการหนึ่งที่ทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ลดน้อยลง แหล่งน้ำหลายแห่งที่ประสบกับภาวะมลพิษทำให้น้ำมีคุณภาพแย่จนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้ น้ำจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสารมลพิษ ตัวอย่างเช่นน้ำทิ้งจากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรมขยะมูลฝอย และสารเคมีต่างๆ การเปลี่ยนแปลงบางอย่าง

อาจมองเห็นได้อย่างชัดเจน และการเปลี่ยนแปลงบางอย่างอาจมองไม่เห็น เช่น การที่น้ำกลายเป็นน้ำที่ไม่มีคุณภาพมีสารละลายต่างๆเพิ่มมากขึ้น ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงดังนั้นจึงมีตัววัดชี้คุณภาพน้ำที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ

2.5.1 ลักษณะน้ำเสียด้านกายภาพ

1. ของแข็ง (solids) ของแข็งประเภทต่างๆ ทั้งประเภทที่ละลายในน้ำ แขวนลอยในน้ำ หรือประเภทที่ลอยน้ำได้ เช่น ดิน เศษกระดาษ ถุงพลาสติก เม็ดทราย เศษพืช เป็นต้น ก่อให้เกิดความไม่สวยงามของแหล่งน้ำ ลดการส่องสว่างของแสงอาทิตย์ลงสู่แหล่งน้ำทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำที่สังเคราะห์แสงไม่สามารถสร้างอาหารได้

2. อุณหภูมิ (temperature) ของน้ำที่สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำในธรรมชาติจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้การเจริญเติบโตของพืช และสัตว์ในน้ำลดลง

3. น้ำทิ้งที่ปล่อยจากชุมชนจะมีสีเทาปนน้ำตาลอ่อน และจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีดำ สีอาจเกิดจากสาหร่าย หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ ทำให้แหล่งน้ำในนั้นมีสีเขียว

4. ความขุ่น (turbidity) ของน้ำเกิดจากสารแขวนลอยต่างๆ เช่น ดิน ตะกอน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สิ่งมีชีวิตทั้งพืช และสัตว์ที่มีขนาดเล็กลอยอยู่ในน้ำ เป็นต้น

5.กลิ่น (oder) น้ำทิ้งจากชุมชนมีกลิ่นเหม็นอับ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นคล้ายไข่เน่า

2.5.2 ลักษณะน้ำเสียด้านเคมี

1. ไขมัน และน้ำมัน (fat, oil) น้ำทิ้งจากชุมชนมีการปนเปื้อนของไขมันหรือน้ำมันจากกระบวนการชำระล้าง อู่ซ่อมรถ สถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น ไขมัน น้ำมัน และไขข้นเป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก หากมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำทำให้ดูไม่สวยงาม และจากลักษณะสมบัติที่ลอยเหนือน้ำทำให้สามารถกันมิให้แสงอาทิตย์และออกซิเจนกระจายลงสู่น้ำ ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้นได้

2.บี โอดี (biochemical oxygen demand: BOD) หมายถึง “ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส” เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งถือว่ามีการย่อยสลายได้หมดในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากการศึกษาหากค่าบีโอดีมีค่าสูงแสดงว่าน้ำนั้นเน่าเสียมาก มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก

3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หรือค่าpH มีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยทั่วไปน้ำมีค่า pH อยู่ในช่วง 5-8

4. ไนโตรเจน (nitrogen: N) เป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน อยู่ในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรต หรือก๊าซไนโตรเจน ถ้ามีไนโตรเจนในแหล่งน้ำมากทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

5. สารโลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ สารตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu)โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) เป็นต้น สารโลหะหนักแพร่กระจายส่งสู่แหล่งน้ำได้มากจากน้ำทิ้งของกระบวนการชุบโลหะ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานเคมี การใช้สารปราบศัตรูพืช เป็นต้น สารโลหะหนักยอมให้มีได้ในน้ำในปริมาณน้อยมาก เนื่องจากเป็นสารที่มีความเป็นพิษแม้จะปนเปื้อนในปริมาณที่น้อยแต่มีบางชนิดหากปริมาณไม่มากนักจะมีผลดีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น สารทองแดง สังกะสี เป็นต้น

6. ก๊าซออกซิเจน (O_2) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยทั่วไปไม่ควรมีปริมาณต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร หากมีปริมาณน้อยสิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ในน้ำได้เพราะไม่มีออกซิเจนไปหล่อเลี้ยง เมื่อไม่มีออกซิเจนจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนได้ผลผลิตเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น และก๊าซมีเทน

7. ความกระด้าง (hardness) ความกระด้างของน้ำ หมายถึง “น้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) และต้องการสบู่ค่อนข้างมากในการทำให้เกิดฟอง หรือน้ำที่ทำให้เกิดตะกรันที่ก้นภาชนะเมื่อทำการต้ม” น้ำกระด้างมี 2 ชนิด คือ น้ำกระด้างชั่วคราว หรือน้ำกระด้างคาร์บอเนต (carbonate hardness) เกิดจากสารไบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) รวมตัวกับแคลเซียมหรือแมกนีเซียม น้ำกระด้างประเภทนี้สามารถทำให้หายกระด้างได้โดยการต้ม อีกประเภทหนึ่งคือน้ำกระด้างถาวร หรือ ความกระด้างที่ไม่ได้เกิดจากคาร์บอเนตน้ำกระด้างถาวรไม่สามารถทำให้หายกระด้างได้โดยการต้ม ต้องใช้กระบวนการบำบัดทางเคมี (ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์ และคณะ, 2555)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็ก (bio-oil microalgae)

สาหร่ายขนาดเล็กมีลิปิดและกรดไขมันเป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์เมมเบรน บางชนิดมีน้ำมัน (bio-oil) เป็นอาหารสะสมเก็บไว้ที่ถุงที่หุ้มเยื่อหุ้มเซลล์ สาหร่ายไดอะตอม (diatom) และ cyanobacteria มีการสะสมลิปิดสูงมากกว่า 30% โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง และบางสายพันธุ์สะสมน้ำมันไว้มากกว่า 50 ชนิด โดยน้ำหนักเซลล์แห้ง (Danielo, 2005) โดยสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีการสะสมลิปิดต่างกันโดย *Scenedesmus dimorphus, Chlorella vulgalis, Spirogyra* sp., *Euglena gracilis* และ *Spirulina maxima* สะสมลิปิด 16-40, 14-22, 11-21, 14-20 และ 6-7 ชนิด โดย

น้ำหนักเซลล์ แห้งตามลำดับ ดังตารางที่ 1.1 (Becker , 1994) และ (Miao และคณะ, 2004) รายงานว่าน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella protothecoides, Microcystis aeruginosa* มีค่า saturated fraction ของ alkane ที่เหมือนกันกับน้ำมันดีเซลนอกจากนั้นยังมีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีค่าความร้อนสูงที่ 29 MJ/kg ความหนาแน่นที่ 1.16 kg/l

สาหร่ายขนาดเล็กที่มีรายงานการวิจัยว่ามีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งน้ำมันมีหลายชนิด ทั้งสาหร่ายน้ำจืดและสาหร่ายทะเล เช่น Emiliana huxleyi, Gephyrocapsa oceanica, Spirulina platensis สาหร่ายสีเขียวในสกุล Chlorella สาหร่ายกลุ่มไดอะตอม แต่ไดอะตอมมีความทนทานต่อการแปรผันของอุณหภูมิต่ำกว่าสาหร่ายสีเขียวสกุล Chlorella (Danielo, 2005) สาหร่ายขนาดเล็กสะสมลิปิด และกรดไขมันที่เซลล์เมมเบรนโดยเป็นแหล่งพลังงานสะสม ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่างๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%)

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่างๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%)

สายพันธุ์ของสาหร่าย	**โปรตีน**	**คาร์โบไฮเดรต**	**ไขมัน**	**กรด นิวคลิอิค**
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)

สาหร่ายขนาดเล็กที่มีรายงานการวิจัยว่ามีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งน้ำมันมีหลายชนิดทั้งสาหร่ายน้ำจืดและสาหร่ายทะเลเช่น *Emiliona huxtey*, *Sephyrocapsa Oceanice*, *Spirulina platensis* สาหร่ายสีเขียวในสกุล *Chlorella* สาหร่ายกลุ่มไดอะตอมแต่ไดอะตอมมีความทนทานต่อการแปรผันของอุณหภูมิต่ำกว่าสาหร่ายสีเขียวสกุล *Chlorella* (Danielo, 2005) สาหร่ายขนาดเล็กสะสมลิปิดและกรดไขมันที่เซลล์เมมเบรนโดยเป็นแหล่งพลังงานสะสม ตารางที่ 2 แสดงปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด

ตารางที่ 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)

อรพรรณ พรหมธนพันธ์ และรัฐภูมิ พรหมณะ, (2556) ได้ทำการศึกษาสาหร่าย 3 สกุล ได้แก่ *Microcystis* sp. *Cladophora* sp. และ *Spirogyra* sp.นำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพโดยการสกัดด้วยสารละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สกัดได้พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบมากที่สุดเท่ากับ 14.05±3.00 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง) รองลงมาคือ ไซยาโนแบคทีเรีย *Microcystis* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบ 13.35±3.00 ชนิด และสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. มีปริมาณน้ำมันชีวภาพอย่างหยาบน้อยที่สุดคือ

5.84±0.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพของสาหร่ายที่พบได้ทั่วไปและมีปริมาณมากตามธรรมชาติในท้องถิ่นภาคเหนือของประเทศไทยที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของน้ำมันไบโอดีเซลได้

วีนา ชูโชติ และคณะ, (2557) ทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำจืดขนาดเล็กที่มีปริมาณไขมันสูง แบ่งเป็น 2 การทดลองๆ ละ 3 ซ้ำคือคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย 8 สายพันธุ์ด้วยวิธีย้อมสี ไนล์เรดและนำสาหร่ายสายพันธุ์ที่คัดเลือกมาศึกษาการเจริญและการผลิตไขมันจากการคัดเลือกด้วยวิธีย้อมสีไนล์เรด พบว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 มีปริมาณไขมันมากที่สุดและเมื่อเลี้ยง *Ankistrodesmus* sp. W53 ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ในอาหารสตรู BG-11 ปริมาตร 15 ลิตร มีการให้อากาศและเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องให้แสงแบบต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 3,500 ลักซ์เป็นเวลา 25 วัน พบว่า *Ankistrodesmus* sp. W53 สามารถผลิตไขมันสูงสุด ร้อยละ 26.09 ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณเซลล์และน้ำหนักเซลล์แห้ง 20.42X104 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

Chen *et al.*, (2009) ได้ทำการคัดแยกไขมันธรรมชาติจากสาหร่ายขนาดเล็กเป็นกุญแจสำคัญในการประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายขนาดเล็ก การย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก แต่มันไม่ประสบความสำเร็จในกลุ่มอื่นๆ ที่มีผนังเซลล์ที่หนาซึ่งจะป้องกันการซึมผ่านของสีย้อม วิธีการเดิมหนึ่งในตัวอย่างเรื่องของเวลาซึ่งใช้เวลานาน ในการศึกษานี้ใช้ตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) แนะนำให้ใช้กับกลุ่มตัวอย่างย้อมที่อุณหภูมิสูง ไขมันในเซลล์ได้รับการพิจารณาและตรวจสอบโดยใช้ 96-well plate บนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และปล่อยความยาวคลื่นที่ 575 นาโนเมตร ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพให้ผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($R = 0.998$) ด้วยไตรโอเลอินมาตรฐานและค่าการวัดซ้ำ มีการประยุกต์และปรับปรุงวิธีการกับสาหร่ายสีเขียวสายพันธุ์อื่นๆ ให้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมาก ซึ่งสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 8.5 3.9 และ 8.6, 4.5 ชนิดสำหรับการทดลองซ้ำและทำที่ความเข้มข้นสองระดับ (2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบและการหาปริมาณขีดจำกัดของการปรับปรุงวิธีการย้อมสีไนล์เรด คือ 0.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ 2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับไตรโอเลอินมาตรฐานตามลำดับ วิธีการที่ปรับปรุงกับแบบเดิมให้ผลที่คล้ายกัน

Held and Raymond, (2011) ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์น้ำมันจากสาหร่ายได้มีความสำคัญในการวิจัยไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอื่นๆ การเรืองแสงของสีไนล์เรดเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

Chen *et al.*, (2011) วิเคราะห์ไขมันในเซลล์ด้วยการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสีไนล์เรดเป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วสำหรับสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิดแต่ไม่ประสบผลสำเร็จในพวกที่ผนังเซลล์หนา ซึ่งจะป้องกันสีย้อมไม่ให้ติดเซลล์ การแก้ปัญหาโดยการใช้ไมโครเวฟช่วยในการย้อมสีไนล์เรด ในวิธีการย้อมมี 2 ขั้นตอนใช้เวลา 50 และ 60 วินาทีตามลำดับซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด

Malapascua *et al.*, (2012) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สีไนล์เรดจะมีลักษณะเรืองแสงเฉพาะในการย้อมหยดไขมัน ซึ่งใช้ในการตรวจสอบปริมาณไขมันโดยตรง การย้อมสีของสาหร่ายขนาดเล็กด้วยสีไนล์เรดจะสามารถมองเห็นการเรืองแสงภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ (กระตุ้น: 450-590 นาโนเมตรและการปล่อย: 520 นาโนเมตร) ความเข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์จะถูกวัดโดยฟลูออเรสเซนต์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่การกระตุ้นและการปล่อยความยาวคลื่น 485 และ 590 นาโนเมตร ตามลำดับ การวิเคราะห์ความหนาแน่นของไขมันและการเรืองแสงโดยวิธีไมโคร-อิมัลชันที่มีการปล่อยและกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 540 และ 617 นาโนเมตร ปริมาณไขมันที่สกัดได้มีความสัมพันธ์กับการเรืองแสงของน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ การเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของเซลล์ที่ย้อม (การกระตุ้น: 485 นาโนเมตร และ 590 นาโนเมตร) การเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของไขมันที่สกัด (การกระตุ้น: 540 นาโนเมตร และ 617 นาโนเมตร) และความหนาแน่นของไขมันมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง นี้แสดงให้เห็นว่าการย้อมด้วยสีไนล์เรดเป็นวิธีที่ค่อนข้างรวดเร็วในการตรวจสอบความหนาแน่นของไขมันในตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก และเป็นวิธีที่ดีในการตรวจสอบความหนาแน่นของไขมันและขจัดความเป็นพิษของสารละลายที่ต้องใช้

Rattanapoltee and Kaewkannetra, (2013) ศึกษาสาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus acutus* PPNK1 ที่แยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วและมีไขมันสูงสามารถตรวจสอบได้โดยการย้อมสีไนล์เรดซึ่งจะเรืองแสงสีเหลืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนต์ที่น่าสนใจจำนวนเซลล์และชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 5.44×107 เซลล์/มิลลิลิตร และ 1.60 กรัม/ลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหาร BG-11 ในขณะที่อาหาร BG-11 ที่ขาดแคลนไนโตรเจน (0.25 กรัม/ลิตร) มีการสะสมไขมันในเซลล์ 44.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสบความสำเร็จสูงกว่ากรณีเลี้ยงในอาหาร BG-11 ประมาณสองเท่า คือ 22.63 เปอร์เซ็นต์

Satpati and Pal, (2014) ศึกษาวิธีการย้อมสีที่รวดเร็วในการตรวจสอบไขมันธรรมชาติโดยใช้โฟลไซโทเมทรีร่วมกับสีย้อมไนล์เรดถูกปรับให้เหมาะสม ซึ่งประสิทธิภาพของการย้อมได้รับการตรวจสอบโดยชนิดความเข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ของสีไนล์เรดและไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) ด้วยระยะเวลาที่ทิ้งไว้ อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน วิธีการที่พัฒนาขึ้นได้รับการตรวจสอบกับสาหร่ายขนาดเล็กสองชนิดคือ *Chlorella ellipsoidea* และ *Chlorococcum infusionum* ประสิทธิภาพการย้อมสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของสีไนล์เรด 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและ DMSO 4 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับสาหร่ายทั้งสองชนิด (pH 6.5) ค่า FSC และ SSC ทั้งสองมิติแสดงการกระจายสูงสุดของเซลล์ที่มีไขมัน สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยและมัธยฐาน เป็นการพิจารณาค่าของไขมัน นอกจากนี้ได้ปรับปรุงวิธีการตรวจหาปริมาณไขมันในไนเตรต (NaNO3) ในเซลล์ ซึ่งประสิทธิภาพของเทคนิคนี้เพิ่มขึ้น 3-4 เท่า ภาพจากกล้องคอนโฟคอนแสดงให้เห็นระดับของไขมันที่สูงในการตรวจสอบเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก

Halim and Webley, (2015) ในภาวะโลกร้อนและการสูญเสียเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างรวดเร็วกลับพบว่าสาหร่ายมีแนวโน้มใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอย่างยั่งยืน การย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีการที่สามารถตรวจสอบปริมาณไขมันได้อย่างรวดเร็วเพื่อนำไปแปรสภาพเป็นไบโอดีเซล มีความจำเป็นในการพัฒนาขั้นตอนการย้อมสี ในขั้นตอนแรกของการศึกษานี้ทำการศึกษาการเรืองแสงของสีไนล์เรดในสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ประสบความสำเร็จมีค่าฟังชั่นคอมโพสิตของตัวแปร (r2 = 0.86) การวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความเข้มจากการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสีไนล์เรดในขั้นตอนที่สองทำการทบทวนงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าสีไนล์เรดจะมีกลไกพื้นฐานในการแพร่กระจายโมเลกุลบนเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก และจะทำปฏิกิริยากับไขมันภายในเซลล์ จากกระบวนการนี้จึงสามารถพัฒนากรอบการทำงานเพื่อเป็นแนวทางมาตรฐานในการย้อมสีไนล์เรดเพื่อพิจารณาความแตกต่างของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิด

Alemán-Nava GS *et al.*, (2016) การใช้สีย้อมไนล์เรดเป็นวิธีการที่รวดเร็วในการตรวจสอบปริมาณของนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากนิวทรัลลิปิดเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ในการทบทวนงานวิจัยนี้ได้พิจารณาหลักการที่จำเป็นน่าเชื่อถือของวิธีการย้อมสีไนล์เรดสำหรับการตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก การเพิ่มการซึมผ่านผนังเซลล์โดยใช้ DMSO (5 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร–25เปอร์เซ็นต์ 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 มีความจำเป็นในการกระตุ้น

และปล่อยความยาวคลื่นได้ถึง 40 นาทีสำหรับเวลาในการบ่ม สรุปได้ 5 ขั้นตอนสำคัญสำหรับวิธีการย้อมด้วยสีไนล์เรด 1) ประเมินความเหมาะสมของสายพันธุ์ในการตรวจสอบนิวทรัลลิปิด 2) เลือกความยาวคลื่นที่ดีที่สุดในการกระตุ้นและปล่อย 3) ความเหมาะสมของระยะเวลาในการบ่ม ลักษณะของคราบลิปิด ความเข้มข้นของสีย้อมและอุณหภูมิ 4) ทำการเพาะเลี้ยงแยกสายพันธุ์เดี่ยวๆ ในการเพาะเลี้ยงเพื่อเทียบปริมาณลิปิดจากการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์ของสีไนล์เรด และ 5) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์กับปริมาณนิวทรัลลิปิดในสายพันธุ์เดียวกัน ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยให้การตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็กทำได้รวดเร็วและน่าเชื่อถือ

มะลิ และคณะ, (2545) แสดงให้เห็นว่า แพลงก์ตอนกลุ่มหลักที่พบโดยทั่วไปสามารถบ่งชี้ถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ โดยพบแพลงก์ตอนพืชที่บริเวณลุ่มน้ำสงครามตอนล่างมากถึง 195 ชนิด และมีสาหร่ายสีเขียว 121 ชนิด ประกอบด้วยกลุ่มเดสมิด (Desmids) เป็นกลุ่มเด่น 78 ชนิด ซึ่งแพลงก์ตอนกลุ่มนี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ความเค็มค่อนข้างต่ำและเป็นตัวบ่งชี้ค่าความกระด้างของน้ำเนื่องจากแคลเซียมเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของเดสมิดนอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ป่าบุงป่าทามมีแพลงก์ตอนพืชมากกว่าในแม่น้ำสงครามเนื่องจากมีสารอาหารไหลเข้ามากับน้ำประกอบกับการเน่าสลายของใบไม้ที่สะสมในบุ่งทามทำให้แพลงก์ตอนพืชขยายเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชจึงมีค่ามากกว่าในแม่น้ำสงครามตามไปด้วย

Alemán-Nava และคณะ, (2016) ได้ตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็กโดยใช้วิธีย้อมด้วยสีไนล์เรดซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่สะดวกทำได้ง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งน่าเชื่อถือในการตรวจสอบน้ำมันและได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเนื่องจากนิวทรัลลิปิดเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนได้

2.7 ลุ่มแม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

แม่น้ำชีเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำมูลเกิดจากที่ราบด้านตะวันออกของเทือกเขาเพชรบูรณ์นับตั้งแต่เขาสันปันน้ำ เขาแปปันน้ำ เขาเสลียงตาถาด เขาอุ้มน้ำ เขายอดชี เขาครอก จนถึงเขาเทวดาซึ่งเป็นแนวภูเขาชายเขตแดนด้านตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดชัยภูมิ โดยมีสาขาหลัก 5 ลำน้ำซึ่งประกอบไปด้วย ลำน้ำพอง ลำน้ำปาว ลำน้ำเซิน ลำน้ำพรมและลำน้ำยัง แม่น้ำชีถือว่าเป็นแม่น้ำที่มีความยาวมากที่สุดในประเทศไทย ไหลผ่านจังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดร้อยเอ็ด จังหวัดยโสธร จังหวัดศรีสะเกษ และไหลไปบรรจบกับแม่น้ำมูลที่บ้านวังยางรอยต่อจังหวัดศรีสะเกษ กับจังหวัดอุบลราชธานี มีความยาวทั้งสิ้น 765 กิโลเมตร

ในปีงบประมาณ 2556 ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ได้มีการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำครั้งที่ 1 ในแม่น้ำชี 3 พื้นที่ และแม่น้ำเสียว 2 พื้นที่ เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2555 ผลการตรวจสอบ

พบว่า แม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม บริเวณวัดวารินทราวาส บ้านท่าตูม ตำบลท่าตูม อำเภอเมือง บริเวณใกล้วัดบ้านดินดำ ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง และบริเวณบ้านคุ้มใต้ ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย คุณภาพน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน พอใช้ โดยปริมาณออกซิเจนละลาย 5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในสภาวะปกติ ส่วนผลการตรวจสอบแม่น้ำเสียว ซึ่งเป็นลำน้ำสาขา บริเวณฝายห้วยเสียว ตำบลบรบือ อำเภอบรบือ มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) มีค่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากสภาพดังกล่าวเป็นพื้นที่ดินเค็ม ทีมีสาเหตุมาจากการทำนาเกลือ ส่วนคุณภาพน้ำบริเวณสะพานลำห้วยเสียว ตำบลหนองแวง อำเภอโกสุมพิสัย คุณภาพน้ำค่อนข้างดีขึ้นตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ปริมาณออกซิเจนละลาย มีค่า 6.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สถานการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำชีและลำน้ำสาขาที่จังหวัดมหาสารคาม อยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นตามลำดับ ซึ่งจังหวัดได้ให้ความสำคัญในการจัดการแก้ไขปัญหา จึงขอให้ทุกภาคส่วนได้ให้ความร่วมมือกันในการจัดการสิ่งปฏิกูล ของเสียที่เป็นพิษกับแหล่งน้ำ ส่งเสริมการทำการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เสริมสร้างบุคคลต้นแบบที่ดี ให้เป็นแบบอย่างในการรักษาคุณภาพแหล่งน้ำให้ยั่งยืนต่อไป ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของมหาสารคาม เป็นที่ราบสูง พื้นดินปนทรายหรือไม่ก็เป็นทรายร่วน เป็นเหตุหนึ่งให้เมืองนี้กันดารน้ำในหน้าแล้ง เพราะแม้จะมีฝนตกน้ำก็ไหลไปหมด ไม่มีน้ำขังอยู่ ทางการได้แก้ปัญหาด้วยการสร้างอ่างเก็บน้ำขึ้นตามที่ต่างๆ สร้างถังเก็บน้ำฝน ขุดเจาะบ่อบาดาล เพื่อป้องกันการขาดแคลนน้ำ จังหวัดนี้ถึงฤดูร้อนก็ร้อนจัด ถึงฤดูหนาวก็หนาวจัด แต่ฝนไม่สู้แน่นอน บางปีก็มีมาก บางปีก็มีน้อย ระดับพื้นที่โดยเฉลี่ยสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 130 - 230 เมตร พื้นที่ค่อนข้างลาดเทจากแนวทิศเหนือใต้ไปทางทิศตะวันออก พื้นที่เป็นลูกคลื่น ประกอบด้วยเนินมออยู่ทั่วไป แต่ไม่มีภูเขา มีทุ่งนาสลับกับป่าโปร่ง ซึ่งมีไม้ในเขตร้อน หรือที่เรียกว่า ป่าโคกขึ้นประปราย เช่น ไม้พลวง เหียง กระบก เต็งรัง ตุมกา ฯลฯ แม่น้ำชีที่ไหลผ่านจังหวัดมหาสารคาม คือบริเวณอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอกันทรวิชัย และ อำเภอเมือง

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของแหล่งน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดพลาสติกเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าความนำไฟฟ้า ส่วนค่าความโปร่งใสของน้ำ และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพของแหล่งน้ำตรวจสอบในพื้นที่จริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 โดยเก็บจากลุ่มน้ำชี ในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกันทรวิชัย 10 จุด อำเภอเมือง 7 จุด อำเภอโกสุม 3 จุด รวมทั้งหมด 20 จุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 ภาพประกอบที่ 2 และ ภาพประกอบที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ

พารามิเตอร์	วิธีการวัด	จุดวิเคราะห์/ตรวจวัด	
		ภาคสนาม	ห้องปฏิบัติการ
1. ลักษณะทางกายภาพ เช่นสี กลิ่นของน้ำ	สังเกต	√	
2. อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	√	
3. ค่าความเป็นกรด ด่าง	เครื่องวัด pH	√	
4.ค่าความโปร่งใสของน้ำ	เครื่องวัดค่าความโปร่งใสของน้ำ (Secchi Disk)	√	
5.ค่าการนำไฟฟ้า และของแข็งที่ละลายในน้ำ	เครื่องวัดค่าความน้ำไฟฟ้าและของแข็งที่ละลายในน้ำ EC/TDS meter	√	
6.ตรวจสอบน้ำมันขนาดเล็กโดยวิธีไนด์เรด			√

การวิเคราะห์การสังเกตสีของน้ำ

สังเกตสีของแหล่งน้ำจากแหล่งน้ำโดยตรง หรือตักขึ้นมาอย่างน้อย 2 ลิตร ใส่หลอดแก้ว หรือขวดแก้วใส แล้วทำการสังเกตสี บันทึกผล

การวิเคราะห์กลิ่นของน้ำ

ดมกลิ่นจากแหล่งน้ำโดยตรง โดยการไปยืนริมน้ำแล้วสูดหายใจดมกลิ่น หรือตักน้ำขึ้นมาอย่างน้อย 2 ลิตร ใส่ขวดแก้วแล้วจึงดมกลิ่นโดยใช้มือโบกกลิ่นให้โชยเข้าจมูก

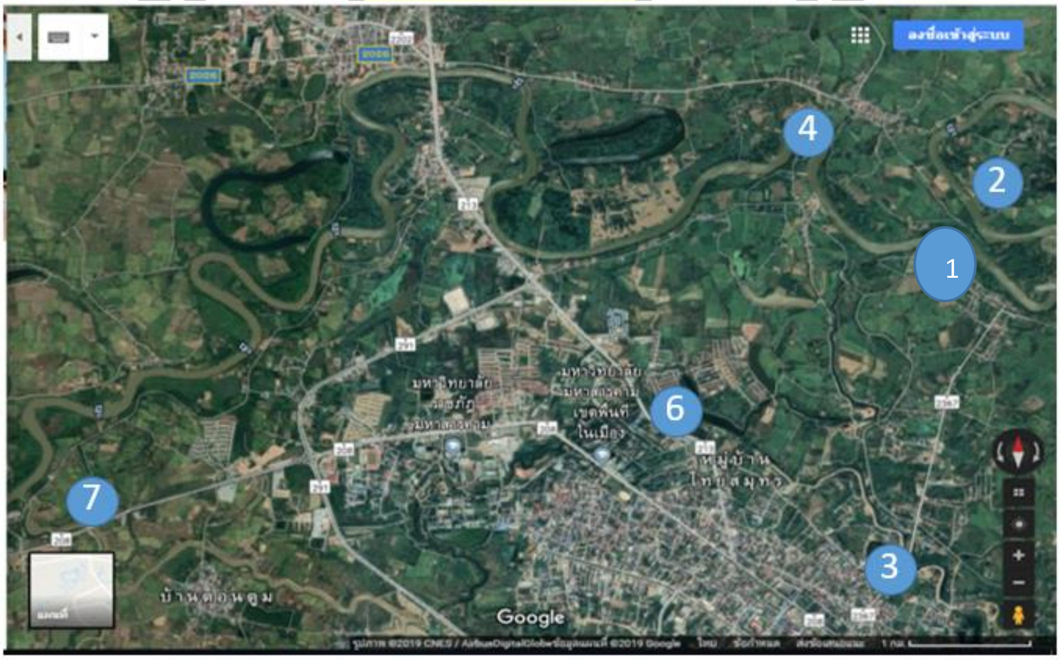
การวัดอุณหภูมิของน้ำ

ทำการตรวจสภาพความพร้อมของเครื่องมือ จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิในอากาศก่อนวัดในน้ำโดยให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์สัมผัสอากาศ 5 นาที แล้วจึงอ่านค่า บันทึกอุณหภูมิในอากาศที่วัดไว้ แล้วทำการวัดอุณหภูมิในน้ำให้ลึกอย่างน้อย 4 นิ้ว คอยอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิหยุดนิ่งคงที่ (3-5นาที) ทำซ้ำ 2 ครั้ง และบันทึกค่าอุณหภูมิ

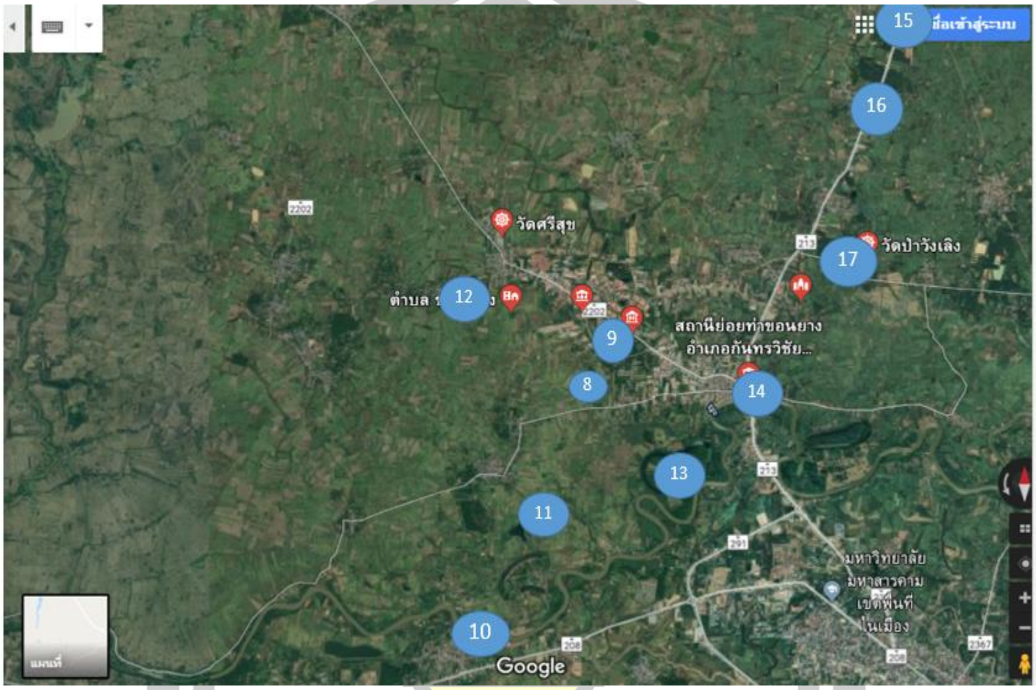
การวัดค่าความเป็นกรด ด่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากกึ่งกลางความลึกของแหล่งน้ำ จากนั้นจุ่มเครื่องวัดค่าความเป็นกรด ด่าง จุ่มลงในน้ำตัวอย่างประมาณ 15 วินาที จากนั้นทำการจดบันทึก

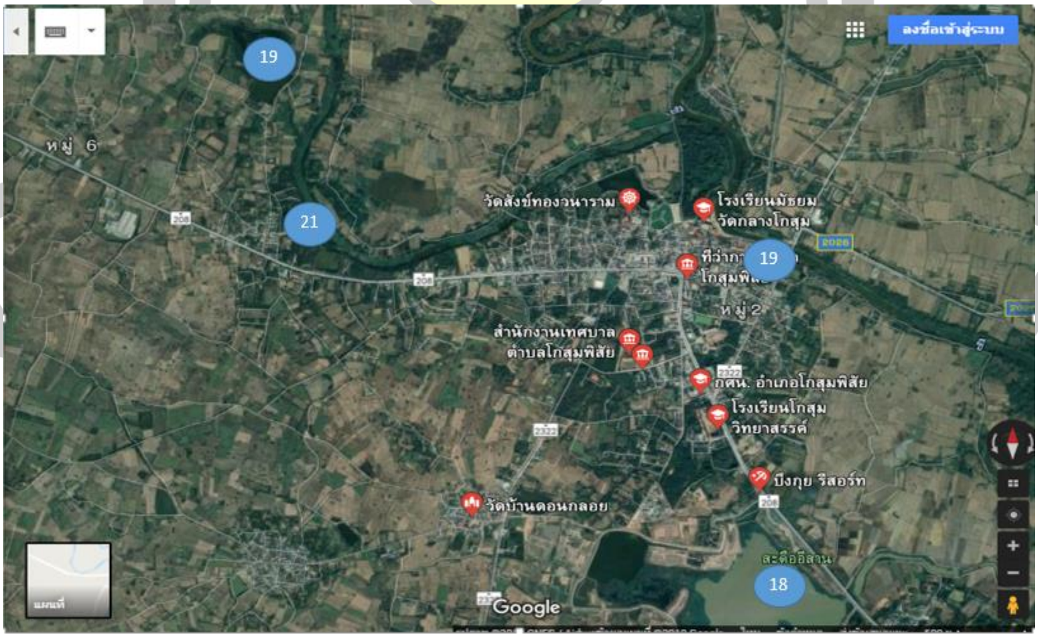
การตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าและของแข็งที่ละลายในน้ำ ตักน้ำใส่บีกเกอร์จำนวน 200 มิลลิลิตร จากนั้นทำการวัดโดยใช้เครื่อง Total Dissolved Solids (TDS) จุ่มลงไปในบีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ทิ้งไว้คงที่ประมาณ (3-5นาที) ทำซ้ำ 2 ครั้ง และบันทึกผล



ภาพประกอบที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม



ภาพประกอบที่ 2 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม



ภาพประกอบที่ 3 พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อำเภอกันทรวิชัย 10 จุด อำเภอเมือง 7 จุด อำเภอโกสุม 3 จุด รวมทั้งหมด 20 จุด

จุดที่ 1 ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 2 วังมัจฉา ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 3 ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 4 แม่น้ำชีวัดบ้านเกิ้งเหนือ ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 5 คลองกุดนางใย ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่7 แก่งเลิงจาน ตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 8 ตึกอาร์เอ็น มมส ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 9 คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุด ที่ 10 บ้านท่าสองคอน ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 11 บ้านแกะแก้ว ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 12 คลองคูบ้านดอนหน่อง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 13 ห้วยหน้าวัดดอนหนาด ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 14 วัดเจริญผล ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 15 อ่างเก็บน้ำหนองบัว ตำบล โคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 16 บ้านหัวขัว ตำบลหัวขัว อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 17 ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง ตำบลหัวขัว อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 18 บึงกุย ตำบลหัวขวาง อำเภอ โกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 19 แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ ตำบลแพง อำเภอ โกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

จุดที่ 20 ห้วยบ้านแพง ตำบลแพง อำเภอ โกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีละติจูด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พิกัดในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก ในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

จุดเก็บตัวอย่าง	ชื่อจุดเก็บตัวอย่าง	ละติจูด
1	ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง	16°12'12.3"N 103°18'11.7"E
2	วังมัจฉา ตำบลเกิ้ง อำเภอ เมือง	16°13'26.4"N 103°19'11.5"E
3	ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง	16°11'31.6"N 103°18'23.9"E
4	แม่น้ำชีวัดบ้านเกิ้งเหนือ ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง	16°13'00.1"N 103°20'25.8"E
5	คลองกุดนางไย ตำบลตลาด อำเภอเมือง	16°10'42.3"N 103°18'48.7"E
6	วัดป่าศุภมิตร ตำบลตลาด อำเภอเมือง	16°12'11.0"N 103°17'34.5"E
7	แก่งเลิงจาน ตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง	16°10'37.2"N 103°15'58.8"E
8	ตึกอาร์เอ็น มมส ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย	16°14'50.6"N 103°14'48.7"E
9	คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ ตำบลขามเรียง อำเภอ กันทรวิชัย	16°14'48.6"N 103°15'17.5"E
10	บ้านท่าสองคอน ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย	16°11'08.2"N 103°13'18.5"E
11	บ้านแกะแก้ว ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย	16°10'59.2"N 103°10'32.6"E
12	คลองคูคลองคูบ้านดอนหน่อง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย	16°15'43.5"N 103°15'07.1"E
13	ห้วยหน้าวัดดอนหนาด ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย	16°13'39.4"N 103°15'09.8"E
14	วัดเจริญผล ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย	16°13'57.5"N 103°16'05.2"E
15	อ่างเก็บน้ำหนองบัว ตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย	16°18'54.3"N 103°17'37.1"E
16	บ้านหัวขัว ตำบลหัวขัว อำเภอกันทรวิชัย	16°15'32.4"N 103°16'52.5"E
17	ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง ตำบลหัวขัว อำเภอกันทรวิชัย	16°15'15.8"N 103°17'24.2"E
18	บึงกุย ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย	16°13'19.0"N 103°04'15.7"E
19	แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ ตำบลแพง อำเภอโกสุมพิสัย	16°15'05.3"N 103°04'14.6"E

พหูชน ปณฺ ฑิโต ชีเว

20	ห้วยบ้านแพง ตำบลแพง อำเภอโกสุมพิสัย	16°16'06.3"N 102°58'56.8"E

3.2 ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำมันขนาดเล็ก

3.2.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

สุ่มเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae)โดยใช้สวิงจับแพลงก์ตอนขนาดตา 10 ไมโครเมตร โดยลากในแนวเฉียงจากระดับความลึกจากผิวน้ำ 50 เซนติเมตร จากนั้นเทตัวอย่างใส่พลาสติกใสเพื่อนำไปตรวจสอบชนิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ในขั้นตอนที่ 3.2.2 บันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง จุดทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็ก คือ ลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกันทรวิชัย 10 จุด อำเภอเมือง 7 จุด อำเภอโกสุม 3 จุด รวมทั้งหมด 20 จุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1 ภาพประกอบที่ 2 และ ภาพประกอบที่ 3 ตามลำดับ รวมทั้งหมด 20 จุด อย่างละ 3 ซ้ำ ในช่วงเดือนมิถุนายน 2561

3.2.2 การตรวจสอบชนิดของสาหร่ายสะสมไขมันขนาดเล็ก

ทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของสาหร่ายขนาดเล็ก โดยการเตรียมสไลด์สดส่องใต้กล่องจุลทรรศน์เพื่อจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายตามวิธีของ ลัดดา วงศ์รัตน์, (2542) ยุวดี พีรพรพิศาล, (2556) Graham and Wilcox, (2009) และ(Bold H.C and Wynne, 1985)

3.2.3 การตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

1) ทำการคัดแยกสาหร่ายขนาดเล็กด้วยเทคนิคการล้างเซลล์ด้วยไมโครปิเปต (Micropipette washing) ตามวิธีของ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540) แล้วนำไปเลี้ยงอาหารเหลวสูตร BG-11 เป็นเวลา 45 วัน

2) คัดเลือกเซลล์สาหร่ายมา 5 ชนิด คือ *Botryococcus braunii*, *Chlorella* sp. *Scenedesmus* sp., *Monoraphidium* sp.และ *Chlamydomonas* sp. ที่มีรายงานว่ามีการสะสมไขมันได้จากข้อ 1 มาตรวจสอบการสะสมไขมันในเซลล์ด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด (ดัดแปลงจาก (Chen *et al*., 2009) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การเตรียมสารละลายไนล์เรด ชั่งสารไนล์เรดปริมาณ 1 มิลลิกรัม ผสมลงในตัวทำละลายอะซีโตน (Acetone) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

- การเตรียม DMSO (Dimethyl Sulfoxide) ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ปิเปต DMSO ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 75 มิลลิลิตร

-การเตรียมสาหร่ายในการย้อมสีไนล์เรด ตามอัตราส่วนดังนี้ ปิเปตสาหร่าย 5 ไมโครลิตร : DMSO ความเข้มข้น 25 เปอร์เซนต์ 100 ไมโครลิตร : สีไนล์เรด 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำเซลล์สาหร่ายที่ย้อมแล้วไปเตรียมเป็นสไลด์สดเพื่อนำไป

ตรวจสอบการสะสมไขมันด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ ถ้ามีการสะสมไขมันจะเห็นการเรืองแสงสีเหลือง ถ้าไม่มีจะเป็นสีแดง แล้วบันทึกภาพ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของแหล่งน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแหล่งลุ่มแม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ในช่วงเดือน มิถุนายน 2561 ได้แก่ อำเภอกันทรวิชัย 10 จุด อำเภอเมือง 7 จุด อำเภอโกสุม 3 จุด รวมทั้งหมด 20 จุด ผลการตรวจวัดพบว่า อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26.0 -28.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด- ด่าง อยู่ในช่วง 6.0-9.9 ค่าความลึกที่แสงส่องถึงหรือค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ในช่วง 10.0-150.0 เซนติเมตร ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 101.0-653.0 ส่วนในล้านส่วน ดังตารางที่ 5 - ตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ 20 จุด

จุดเก็บตัวอย่าง	Water Quality						
	สี/กลิ่นของน้ำ	พืชน้ำ	อุณหภูมิน้ำ	ค่า pH	ค่าโปร่งใสของน้ำ (cm)	ค่าความนำไฟฟ้า (μS/cm)	ของแข็งที่ละลายในน้ำ (ppm)
1.ห้วยคะคาง วัดป่าวังน้ำเย็น	ใส	จอกหูหนู	27.7	6.4	140	207	102
2.วังมัจฉา	ใส/กลิ่นคาว	แหน	26.7	7.3	100	200	103
3.ห้วยคะคาง หอพักวิทยาลัยพยาบาล	สีเขียว/กลิ่นคาว	ผักตบชวา	27.3	9.9	10	1304	653
4.แม่น้ำชี วัดเกิ้งเหนือ	ขาวขุ่น/กลิ่นคาว	ผักตบชวา	26.7	7	30	278	555
5.คลองกุดนางไย	สีเขียว/กลิ่นคาว	ผักตบชวา	27.5	7.5	35	871	436
6.ห้วยคะคาง วัดป่าศุภมิตร	ใส/กลิ่นคาว	ผักตบชวา	27.5	8.2	70	485	244
7.แก่งเลิงจาน	ขาวขุ่น/กลิ่นคาว	สาหร่ายหางกระรอก	27.5	7.2	40	219	110

พหุปัญญา ศึกษา ชีวิต

8.ตึกอาร์เอ็น มมส	เขียว,ขุ่น	วัชพืช ผักตบชวา กลิ่นน้ำเสีย	26.4	7	30	555	

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ 20 จุด (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	Water Quality						
	สี/กลิ่นของน้ำ	พืชน้ำ	อุณหภูมิน้ำ	ค่า pH	ค่าโปร่งใสของน้ำ (cm)	ค่าความนำไฟฟ้า (μS/cm)	ของแข็งที่ละลายในน้ำ (ppm)
9.คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์	เขียวอ่อน/กลิ่นซากพืช	ผักบุ้ง	26.0	6.4	30	476	237
10.บ้านท่าสองคอน	เหลืองอ่อน	แหนแดง	27.6	6.7	30	122	101
11.บ้านแกะแก้ว	ใส	สาหร่ายหางกระรอก หญ้า	27.0	6.8	50	489	230
12.คลองคูบ้านดอนหน่อง	ใส	ผักบุ้ง ไมยราพยักษ์	26.7	7.5	50	214	107
13. ห้วยหน้าวัดดอนหนาด	ขาวขุ่น	ไม่มี	27.4	7.2	45	1167	584
14.วัดเจริญผล	ขาวขุ่น	ผักตบชวา	26.7	7.5	80	704	352
15. อ่างเก็บน้ำหนองบัว	ใส	สาหร่ายหางกระรอก บัว หญ้า ผักกระเฉด	27.8	6	100	481	240
16.บ้านหัวขัว	เหลือง/กลิ่นซากพืช	บัว หญ้า	26.6	6.7	20	418	210
17.ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง	ใส	ผักบุ้ง แหนแดง บัว หญ้า	27.3	6	70	541	213
18.บึงกุย	ขาวขุ่น	ผักตบชวา	27.0	7.5	30	230	102
19. แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้	ขาวขุ่น	ผักตบชวา	28.3	7.5	80	566	324
20.ห้วยบ้านแพง	ใส	สาหร่ายไฟ สาหร่ายหางกระรอก	26.9	7.4	150	450	298

4.1.1 สีและกลิ่นของน้ำ

ผลการสังเกตสีของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด ดังแสดง ตารางที่ 5 พบว่า สีและกลิ่นของน้ำในแต่ละแหล่งน้ำในที่เก็บตัวอย่าง มีสีและกลิ่นที่แตกต่างกันออกไปโดยส่วนใหญ่มีลักษณะสีและกลิ่นของแหล่งน้ำที่แตกต่างกันดังนี้ สีใสไม่มีกลิ่นน้ำพบที่ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น บ้านแกะแก้ว คลองคูบ้านดอนหน่อง อ่างเก็บน้ำหนองบัว ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง และ ห้วยบ้านแพง สีใส มีกลิ่นคาวปลาพบที่ วังมัจฉา และห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร สีขาวขุ่นไม่มีกลิ่นน้ำพบที่ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด วัดเจริญผล บึงกุย และแม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ สีขาวขุ่นกลิ่นคาวปลาพบที่แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ แก่งเลิงจาน สีเขียวมีกลิ่นน้ำพบที่ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาลศรีมหาสารคาม คลองกุดนางไย และตึกอาร์เอ็น มมส กลิ่นน้ำเน่าเสีย สีเขียวอ่อนกลิ่นซากพืชพบที่คลองน้ำหน้าคอนอาจารย์ และบ้านหัวขัวมีสีเหลืองกลิ่นซากพืช ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.2 ชนิดของพืชน้ำที่พบ

ผลการสังเกตสีของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด ดังแสดง ตารางที่ 5 พบว่า พืชน้ำที่พบในแต่ละแหล่งน้ำมีลักษณะสภาพแวดล้อมที่พบแตกต่างกันออกไปโดยส่วนใหญ่จะพบพืชน้ำจำพวนผักตบชวา พบที่ ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล คลองกุดนางไย แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร วัดเจริญผล บึงกุย และ แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ รองลงมาจะพบจอกหูหนู แหน สาหร่ายหางกระรอก ผักบุ้ง หญ้า บัว ผักกระเฉด ไมยราพยักษ์และสาหร่ายไฟพบที่ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น วังมัจฉา แก่งเลิงจาน ตึกอาร์เอ็น มมส คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ บ้านท่าสองคอน บ้านเกาะแก้ว คลองคูบ้านดอนหน่อง อ่างเก็บน้ำหนองบัว บ้านหัวขัว ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง และห้วยบ้านแพง ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.3 อุณหภูมิของน้ำ

ผลจาการวัดอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด มีค่าอยู่ในช่วง 26-28.3 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.4 ความเป็นกรด ด่าง

ผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรด ด่างของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด พบว่ามีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6-9.9 ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.5 ค่าความโปร่งใสของน้ำ

ผลการตรวจวัดค่าความโปร่งใสของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3

ทั้ง 20 จุด พบว่าค่าความโปร่งใสของน้ำในแต่ละแหล่งน้ำส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 10-150 เซนติเมตร ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.6 การนำไฟฟ้า

ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด พบว่าค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 122-1,304 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.1.7 ของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ

ผลการตรวจวัดค่าของแข็งที่ละลายในน้ำของแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอ กันทรวิชัย 10 จุด อำเภอ เมือง 7 จุด อำเภอ โกสุม 3 ทั้ง 20 จุด พบว่าค่าของแข็งที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 101-653 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงดังตารางที่ 5-ตารางที่ 6

4.2 ผลการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

จากการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม จาก 20 จุด พบสาหร่ายขนาดเล็กในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 7 – ตารางที่ 13 และภาพประกอบที่ 4-34

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

ตารางที่ 7 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 1 ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น	*Botryococcus*	*Botryococcus* sp.
	Cosmarium	*Cosmarium* sp.
	Microcystis	*Microcystis* sp.
	Navicula	*Navicula* sp.
	Nitzschia	*Nitzschia improvisa*
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Pandorina	*Pandorina* sp.
	Synedra	*Synedra* sp.
จุดที่ 2 วังมัจฉา	*Aulacoseira*	*Aulacoseira* sp.
	Pediastrum	*Pediastrum* sp.
จุดที่ 3 ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล	*Chlorella*	*Chlorella* sp.
	Phacus	*Phacus* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.
	Staurastum	*Staurastum sp.*
จุดที่ 4 แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ	*Closterium*	*Closterium* sp.
	Cymbella	*Cymbella* sp.
	Diatoma sp.	*Cymbella* sp.
	Pediastrum	*Pediastrum* sp.
	Stauroneis	*Stauroneis* sp.
จุดที่ 5 คลองกุดนางใย	*Chlorella*	*Chlorella* sp.
	Crucigeniella	*Crucigeniella* sp.
	Euglena	*Euglena* sp.
	Navicula	*Navicula* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria sp.*

พหุนาม ปณิ ศิโต ชีวา

	Phacus	*Phacus* sp.

พหูน ปณฺ ฑิโต

ตารางที่ 8 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร	*Chlamydomonas*	*Chlamydomonas* sp.
	Chlorella	*Chlorella* sp.
	Chroococcus	*Chroococcus* sp.
	Coelastrum	*Coelastrum* sp.
	Coelomoron	*Coelomoron sp.*
	Dictyosphaerium	*Dictyosphaerium* sp.
	Euglena	*Euglena* sp.
	Haematococcus	*Haematococcus* sp.
	Merismopedia	*Merismopedia tenuissima*
	Merismopedia	*Merismopedia* sp.
	Microcystis	*Microcystis* sp.
	Monoraphidium	*Monoraphidium* sp.
	Navicula	*Navicula* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria sp.*
	Pediastrum	*Pediastrum* sp.
	Phacus	*Phacus* sp.
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.
	Synechococcus	*Synechococcus* sp.
	Tetraedron	*Tetraedron* sp.
	Trachelomonas	*Trachelomonas* sp
จุดที่ 7 แก่งเลิงจาน	*Euglena*	*Euglena* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Spirogyra	*Spirogyra* sp.

ตารางที่ 9 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 8 ตึกอาร์เอ็น มมส	*Aulacoseira*	*Aulacoseira granulata*
	Chlorogloepsis	*Chlorogloepsis* sp.
	Closterium	*Closterium* sp.
	Microcystis	*Microcystis novacekii*
	Navicula	*Navicula* sp.
	Nephrocytium	*Nephrocytium limneticum*
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.
	Pediastrum	*Pediastrum simplex*
	Synedra	*Synedra* sp.
	Tetraedron	*Tetraedron* sp.
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.
จุดที่ 9 คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์	*Closterium*	*Closterium acutum* var.*variabile*
	Cosmarium	*Cosmarium contractum* Kirchner var.
	Cymbella	*Cymbella tumida*
	Jaaginema	*Jaaginema pseudogeminatum*
	Kirchneriella	*Kirchneriella* sp.
	Micrasterias	*Micrasterias truncata*
	Navicula sp.	*Navicula* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.
	Synedra	*Synedra* sp.
	Tetraedron	*Tetraedron* sp.

พหูน ปณฺ ทิโต

ตารางที่ 10 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 10 บ้านท่าสองคอน	*Chlorella*	*Chlorella* sp.
	Gyrosigma	*Gyrosigma* sp.
	Spirogyra	*Spirogyra* sp.
	Trachelomonas	*Trachelomonas* sp.
จุดที่ 11 บ้านแกะแก้ว	*Calothrix*	*Calothrix* sp.
	Chlorella	*Chlorella* sp.
	Cyclotella	*Cyclotella* sp.
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*
	Navicula	*Navicula* sp.
	Phacus	*Phacus circulates* Pochmann
จุดที่ 12 คลองคูบ้านดอนหน่อง	*Botryococcus*	*Botryococcus* sp.
	Centritractus	*Centritractus* sp.
	Closterium	*Closterium cornu*
	Crucigeniella	*Crucigeniella* sp.
	Coelomoron	*Coelomoron* sp.
	Euglena	*Euglena* acus
	Kirchneriella	*Kirchneriella* sp.
	Komvophoron	*Komvophoron* sp.
	Navicula	*Navicula* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Phacus	*Phacus* sp.
	Planktothrik	*Planktothrik* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.
	Stauroneis	*Stauroneis* sp.

	Tetraedron	*Tetraedron* sp.

ตารางที่ 11 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 13 ห้วยหน้าวัดดอนหนาด	*Coelastrum*	*Coelastrum microsporum*
	Oscillatoria	*Oscillatoria tenuis* Gomont
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Pandorina	*Pandorina* sp.
	Planktolyngbya	*Planktolyngbya* sp.
	Spirulina	*Spirulina* sp.
	Synedra	*Synedra* sp.
	Tetrastrum	*Tetrastrum multisetum*
	Trachelomonas	*Trachelomonas* sp.
	Volvox	*Volvox* sp.
จุดที่ 14 วัดเจริญผล	*Aulacoseira*	*Aulacoseira* sp.
	Aulacoseira	*Aulacoseira granulata*
	Coelomoron .	*Coelomoron* sp.
	Cosmarium	*Cosmarium contractum* Kirchnre var.
	Hyalotheca	*Hyalotheca sp.*
	Jaaginema	*Jaaginema pseudogeminatum.*
	Jaaginema	*Jaaginema sp.*
	Microcystis	*Microcystis* sp.
	Monoraphidium	*Monoraphidium* sp.
	Navicula	*Navicula* sp.
	Planktolyngbya	*Planktolyngbya* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.

ตารางที่ 12 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 15 อ่างเก็บน้ำหนองบัว	*Cosmarium*	*Cosmarium* sp.
	Cymbella	*Cymbella* sp.
	Gonatozygon	*Gonatozygon* sp.
	Micrasterias	*Micrasterias foliacea* Bailey
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.
	Oscillatoria.	*Oscillatoria* sp.
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.
	Spirulina	*Spirulina* sp.
	Synedra	*Synedra* sp.
	Spondylosium	*Spondylosium* sp.
จุดที่ 16 บ้านหัวขัว	*Aulacoseira*	*Aulacoseira* sp.
	Closterium	*Closterium* sp.
	Euglena	*Euglena acus*
	Microcystis	*Microcystis* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Phacus	*Phacus* sp

พหุนํ ปณฺฑิโต ชีเว

ตารางที่ 13 สาหร่ายขนาดเล็กที่พบในลุ่มแม่น้ำชีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	สกุล	ชนิด
จุดที่ 17 ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง	*Aulacoseira*	*Aulacoseira* sp.
	Closterium	*Closterium* sp.
	Coelastrum	*Coelastrum* sp.
	Euglena	*Euglena* sp.
	Isthmochloron	*Isthmochloron* sp.
	Microcystis	*Microcystis* sp.
	Monoraphidium	*Monoraphidium* sp.
	Pediastrum	*Pediastrum* sp.
	Scenedesmus	*Scenedesmus sp.*
	Stauroneis	*Stauroneis* sp.
จุดที่ 18 บึงกุย	*Coelastrum*	*Coelastrum microsporum*
	Diatoma	*Diatoma* sp.
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Mastigocladus	*Mastigocladus* sp.
จุดที่19 แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้	*Eudorina*	*Eudorina elegans*
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*
	Scenedesmus	*Scenedesmus sp.*
จุดที่ 20 ห้วยบ้านแพง	*Ankistrodesmus*	*Ankistrodesmus* sp.
	Botryococcus	*Botryococcus braunii*
	Closterium	*Closterium parvulum*
	Cyclotella	*Cyclotella meghiniana*
	Cosmarium	*Cosmarium askeasyi*
	Cosmarium	*Cosmarium* sp.
	Gonatozygon	*Gonatozygon aculeatum*

		Volvox	*Volvox globator*

งานวิจัยนี้สามารถจัดจำแนกความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม จาก 20 จุดพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมด 5 ดิวิชัน (division) 31 วงศ์ (family) 57 สกุล (genus) 76 ชนิด (species) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 14 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
Cyanophyta	Choococcaceae	*Microcystis*	*Microcystis novacekii*
			Microcystis sp.
		Chroococcus	*Chroococcus* sp.
	Merismopediaceae	*Coelomoron*	*Coelomoron* sp.
		Merismopedia	*Merismopedia* sp.
			Merismopedia tenuissima
	Oscillatoriaceae	*Planktolyngbya*	*Planktolyngbya* sp.
		Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.
			Oscillatoria tenuis Gomont
		Spirulina	*Spirulina* sp.
	Synechococcaceae	*Synechococcus*	*Synechococcus* sp.
	Pseudanabaenaceae	*Pseudanabaena*	*Pseudanabaena* sp.
		Jaaginema	*Jaaginema peudogeminatum*
			Jaaginema sp.
	Rivulariaceae	*Calothrix*	*Calothrix* sp.
	Comontiellaceae	*Komvophoron*	*Komvophoron* sp.
	Mastigocladaceae	*Mastigocladus*	*Mastigocladus* sp.

	Phormidiaceae	*Planktothrik*	*Planktothrik* sp.

ตารางที่ 15 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
Cyanophyta	Scenedesmaceae	*Tetrastrum*	*Tetrastrum multisetum*
Bacillariophyta	Melosiraceae	*Aulacoseira*	*Aulacoseira granulata*
			Aulacoseira sp.
	Naviculaceae	*Gyrosigma*	*Gyrosigma* sp.
		Cymbella	*Cymbella* sp.
			Cymbella tumida
		Stauronesis	*Stauroneis* sp.
		Navicula	*Navicula* sp.
		Pinnularia	*Pinnularia* sp.
	Thalassiosiraceae	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.
			Cyclotella meghiniana
	Fragilariaceae	*Diatoma*	*Diatoma* sp.
		Synedra	*Synedra* sp.
	Bacillariaceae	*Nitzschia*	*Nitzschia* sp.
			Nitzschia improvisa
Euglenophyta	Euglenaceae	*Phacus*	*Phacus circulates* Pochmann
			Phacus sp.
		Trachelomonas	*Trachelomonas* sp.
		Euglena	*Euglena acus*
			Euglena sp.

ตารางที่ 16 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
Chlorophyta	Selenastraceae	*Kirchneriella*	*Kirchneriella lunaris*
			Kirchneriella sp.
		Monoraphidium	*Monoraphidium* sp.
		Ankisyrodesmus	*Ankistrodesmus* sp.
	Botryococcaceae	*Botryococcus*	*Botryococcus* sp.
			Botryococcus braunii
	Desmidiaceae	*Closterium*	*Closterium acutum* var.*variabile*
			Closterium cornu
			Closterium sp.
			Closterium parvulum
		Staurastrum	*Staurastrum* sp.
		Cosmarium	*Cosmarium* sp.
			Cosmarium askeasyi
			Cosmarium contractum Kirchner
		Hyalotheca	*Hyalotheca* sp.

ตารางที่ 17 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
Chlorophyta	Desmidiaceae	*Micrasterias*	*Micrasterias truncata*
			Micrasterias foliacea Bailey
		Spondylosium	*Spondylosium* sp.
	Gonatozygaceae	*Gonatozygon*	*Gonatozygon* sp.
	Scenedesmaceae	*Scenedesmus*	*Scenedesmus* sp.
		Coelastrum	*Coelastrum* sp.
			Coelastrum microsporum
	Tetrasporaceae	*Tetraspora*	*Tetraspora* sp.
	Hydrodictyceae	*Pediastrum*	*Pediastrum simplex*
			Pediastrum sp.
		Tetraedron	*Tetraedron* sp.
	Volvocaceae	*Eudorina*	*Eudorina elegans*
		Pandorina	*Pandorina* sp.
		Volvox	*Volvox* sp.
	Chlorellaceae	*Chlorella*	*Chlorella* sp.
		Dictyosphaerium	*Dictyosphaerium* sp.
	Oocystaceae	*Crucigeniella*	*Crucigeniella* sp.
		Nephrocytium	*Nephrocytium limneticum*
		Pesudococomyxa	*Pesudococomyxa* sp.

ตารางที่ 18 การจำแนกสาหร่ายขนาดเล็กที่พบจากแหล่งน้ำในสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	วงศ์	สกุล	ชนิด
Chlorophyta	Chlamydomonadaceae	*Chlamydomonas*	*Chlamydomonas* sp.
		Haematococcus	*Haematococcus* sp.
	Zygnemataceae	*Spirogyra*	*Spirogyra* sp.
Chrysophyta	Centritractaceae	*Centritractus*	*Centritractus* sp.
	Pleurochloridaceae	*Isthmochloron*	*Isthmochloron* sp.

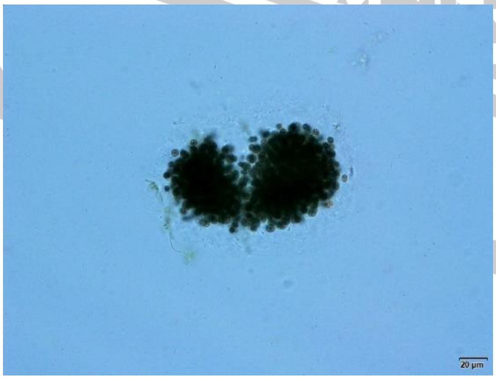
ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชี จังหวัดมหาสารคามส่วนใหญ่พบทั้งหมด 5 ดิวิชัน ดังมีรายละเอียดของลักษณะสาหร่ายแสดงเป็นภาพประกอบแต่ละสกุลดังต่อไปนี้

4.2.1 ดิวิชัน Cyanophyta ในการศึกษาครั้งนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในวงศ์ต่างๆดังต่อไปนี้

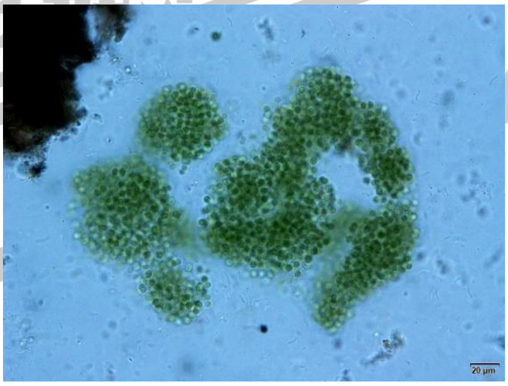
4.2.1.1 วงศ์ Chroococcaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Microcystis* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น บ้านหัวขัว วัดเจริญผล ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตึกอาร์เอ็น มมส และ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบที่ 4A และ 4B)

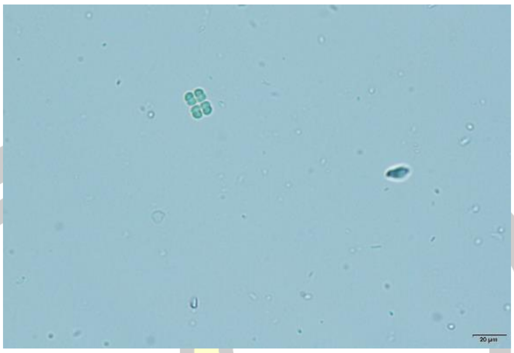
สกุล *Chroococcus* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร และคลองกุดนางไย (ดังภาพประกอบ 4C)



A) *Microcystis* sp.



B) *Microcystis novacekii*



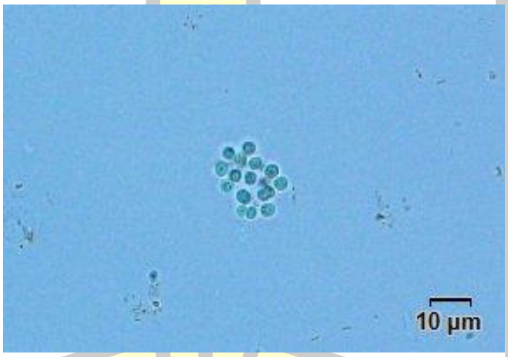
C) *Chroococcus* sp.

ภาพประกอบที่ 4 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chroococcaceae

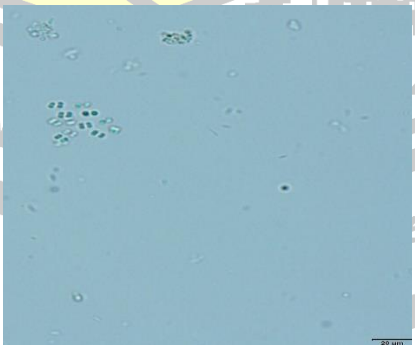
4.2.1.2 วงศ์ Merismopediaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

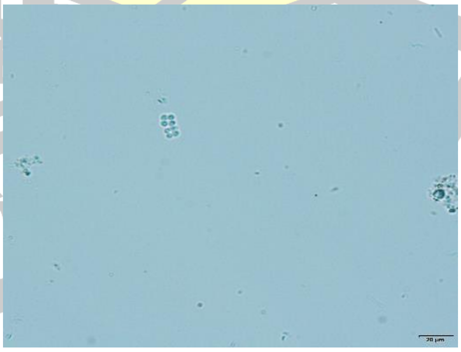
สกุล *Coelomoron* แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง วัดเจริญผล ตึกอาร์เอ็น มมส และห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบ 5A)

สกุล *Merismopedia* แหล่งที่พบ 2 ชนิดคือ *Merismopedia* sp. และ *Merismopedia tenuissima* พบที่ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบ 5B และ5C)



A) *Coelomoron* sp.





B) *Merismopedia* sp.

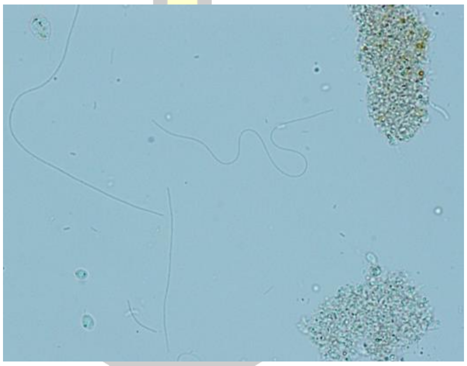
C) *Merismopedia tenuissima*

ภาพประกอบที่ 5 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Merismopediaceae

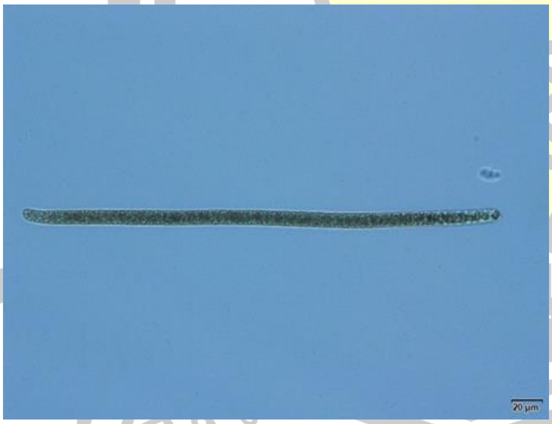
4.2.1.3 วงศ์ Oscillatoriaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Planktolyngbya* แหล่งที่พบ วัดเจริญผล ห้วยหน้าวัดดอนหนาด (ดังภาพประกอบ 6A)

สกุล *Oscillatoria* พบ 2 ชนิดคือ *Oscillatoria* sp. และ *Oscillatoria tenuis* Gomont แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร อ่างเก็บน้ำหนองบัว ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น เจริญผล ห้วยหน้าวัดดอนหนาด แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ คลองกุดนางไย และ แก่งเลิงจาน บึงกุย บ้านหัวขัว (ดังภาพประกอบ 6B และ 6C)



A) *Planktolyngbya* sp.



B) *Oscillatoria* sp. C) *Oscillatoria tenuis* Gomont

ภาพประกอบที่ 6 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriaceae

4.2.1.4 วงศ์ Oscillatoriales ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

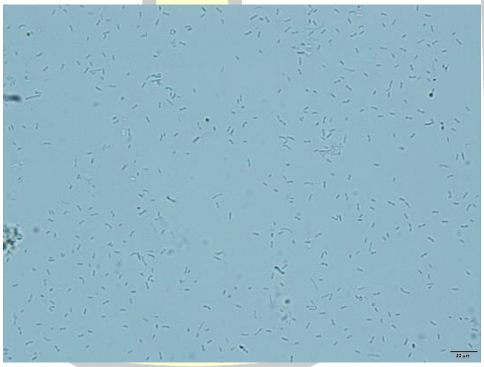
สกุล *Spirulina* แหล่งที่พบ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด อ่างเก็บน้ำหนองบัว (ดังภาพประกอบ7A)

A) *Spirulina sp.*

ภาพประกอบที่ 7 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oscillatoriales

4.2.1.5 วงศ์ Synechococcaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Synchococcus* แหล่งที่พบ วัดป่าศุภนิมิต (ดังภาพประกอบ 8A)



A) *Synechococcus* sp.

ภาพประกอบที่ 8 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Synechococcaceae

4.2.1.6 วงศ์ Pseudanabaenaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Pseudanabaena* แหล่งที่พบ วัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบ 9A)

สกุล *Jaaginema* พบ 2 ชนิดคือ *Jaaginema pseudogeminatum* และ *Jaaginema* sp. แหล่งที่พบ คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ และวัดเจริญผล (ดังภาพประกอบ 9B และ 9C)

พหุนปณฺฑิโต ชีเว

A) *Pseudanabaena* sp

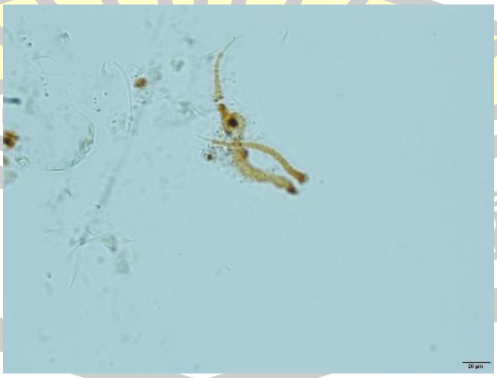
B) *Jaaginema pseudogeminatum*

C) *Jaaginema* sp.

ภาพประกอบที่ 9 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Pseudanabaenaceae

4.2.1.7 วงศ์ Rivulariaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Calothrix* แหล่งที่พบ คลองน้ำบ้านแกะแก้ว (ดังภาพประกอบที่ 10A)



A) *Calothrix* sp.

ภาพประกอบที่ 10 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Rivulariaceae

4.2.1.8 วงศ์ *Comomtiellaceae* ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Komvophoron* แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 11A)

A) *Komvophoron* sp.

ภาพประกอบที่ 11 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Comomtiellaceae

4.2.1.9 วงศ์ Mastigocladaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Mastigocladus* แหล่งที่พบ บึงกุย (ดังภาพประกอบที่ 12A)

A) *Mastigocladus* sp.

ภาพประกอบที่ 12 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Mastigocladaceae

4.2.1.20 วงศ์ Phormidiaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Planktothrik* แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 13A)

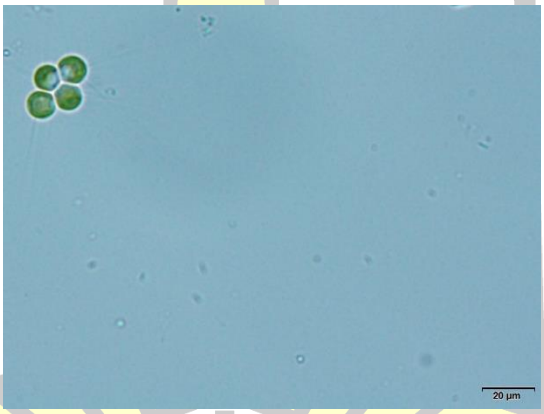
พหุนํา ปณฺ ฑิโต ชีเว

A) *Planktothrik* sp.

ภาพประกอบที่ 13 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Phormidiaceae

4.2.1.21 วงศ์ Scenedesmaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Tetrastrum* แหล่งที่พบ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด (ดังภาพประกอบที่ 14A)



A) *Tetrastrum multisetum*

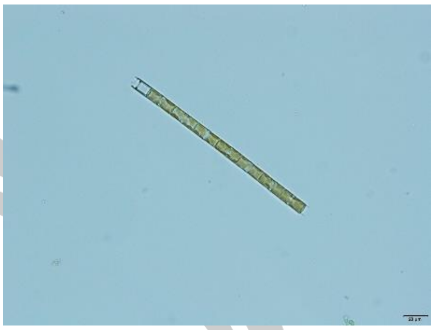
ภาพประกอบที่ 14 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Scenedesmaceae

4.2.2.ดิวิชัน Bacillariophyta ในการศึกษาครั้งนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในวงศ์ต่างๆดังต่อไปนี้

4.2.2.1 วงศ์ Melosiraceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Aulacoseira* พบ 2 ชนิดคือ *Aulacoseira granulata* และ *Aulacoseira* sp. แหล่งที่พบ ตึกอาร์เอ็น มมส วัดเจริญผล บ้านหัวขัว ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง และวังมัจฉา (ดังภาพประกอบที่ 15A และ15B)

A) *Aulacoseira granulata*



B) *Aulacoseira* sp.

ภาพประกอบที่ 15 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Melosiraceae

4.2.2.2 วงศ์ Naviculaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Gyrosigma* แหล่งที่พบ บ้านท่าสองคอน (ดังภาพประกอบ16A)

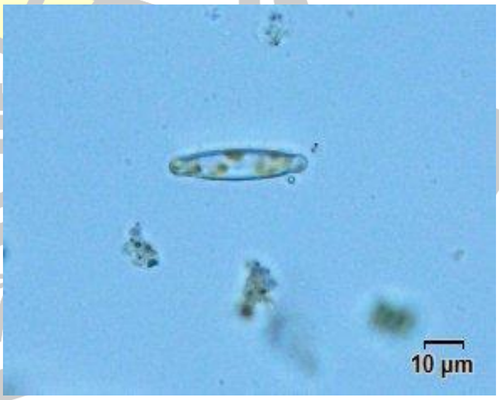
สกุล *Cymbella* พบ 2 ชนิดคือ *Cymbella* sp. และ *Cymbella tumida* แหล่งที่พบ อ่างเก็บน้ำหนองบัว และ คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ (ดังภาพประกอบที่ 16 C และ16D)

สกุล *Stauroneis* แหล่งที่พบ บ้านดอนหน่อง แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ และ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบ 16B)

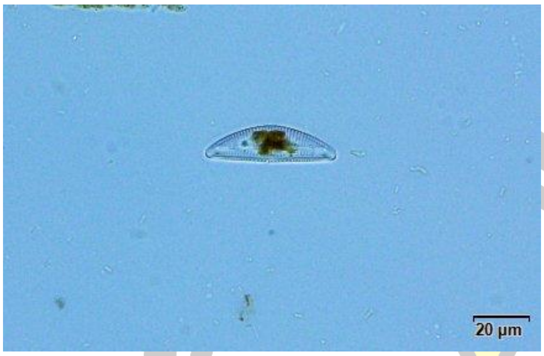
สกุล *Navicula* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น อ่างเก็บน้ำหนองบัว คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ วัดเจริญผล ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตึกอาร์เอ็นมมส บ้านแกะแก้ว คลองกุดนางไยและคลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 16E)

สกุล *Pinnularia* แหล่งที่พบ อ่างเก็บน้ำหนองบัว (ดังภาพประกอบที่ 16F)

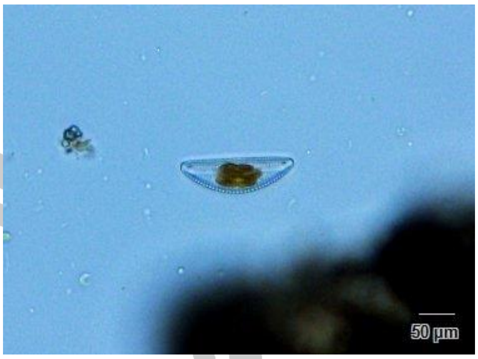
A) *Gyrosigma* sp.



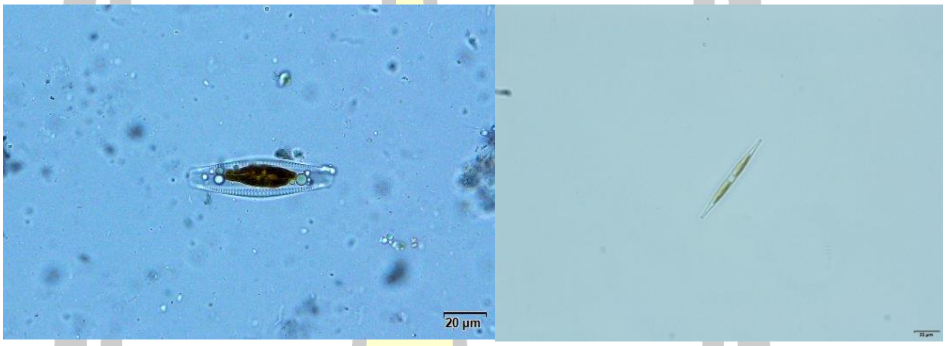
B) *Stauroneis* sp.



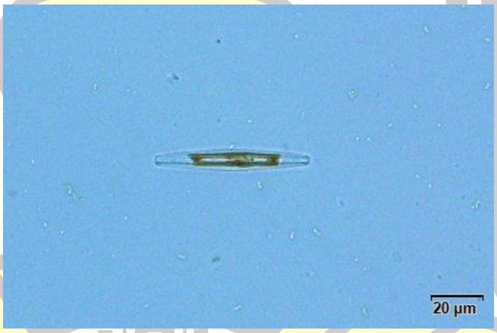
C) *Cymbella* sp.



D) *Cymbella tumida*



E) *Navicula* sp.

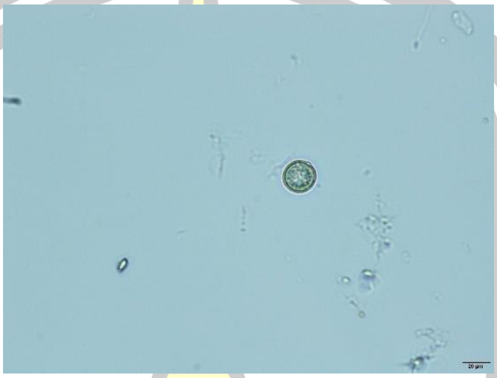


F) *Pinnularia sp.*

ภาพประกอบที่ 16 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Naviculaceae

4.2.2.3 วงศ์ Thalassiosiraceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Cyclotella* แหล่งที่พบบ้านแกะแก้ว และห้วยบ้านแพง (ดังภาพประกอบที่ 17A)



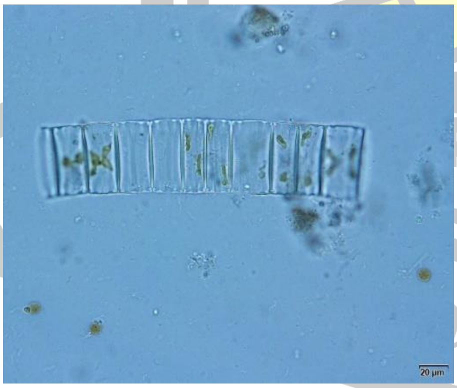
A) *Cyclotella* sp.

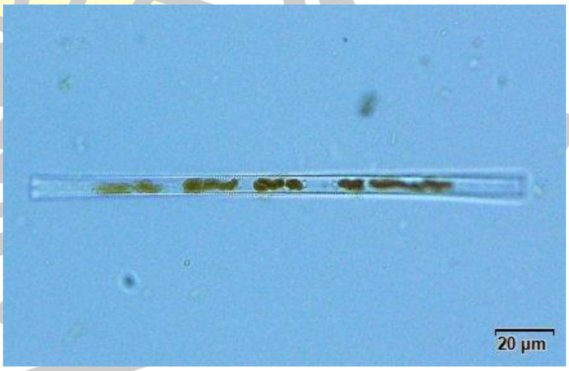
ภาพประกอบที่ 17 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Thalassiosiraceae

4.2.2.4 วงศ์ Fragilariaceae

สกุล *Synedra* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น ตึกอาร์เอ็น มมส อ่างเก็บน้ำหนองบัว คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ และ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด (ดังภาพประกอบที่ 18B)

สกุล *Diatoma* แหล่งที่พบ แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ และบึงกุย (ดังภาพประกอบที่ 18A)





A) *Diatoma* sp. B) *Synedra* sp.

ภาพประกอบที่ 18 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Fragilariaceae

4.2.2.5 วงศ์ Bacillariaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Nitzschia* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น ตึกอาร์เอ็น มมส และ อ่างเก็บน้ำหนองบัว (ดังภาพประกอบที่ 19A)

A) *Nitzschia* sp.

ภาพประกอบที่ 19 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Bacillariaceae

4.2.3.ดิวิชัน Euglenophyta ในการศึกษาครั้งนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในวงศ์ต่างๆดังต่อไปนี้

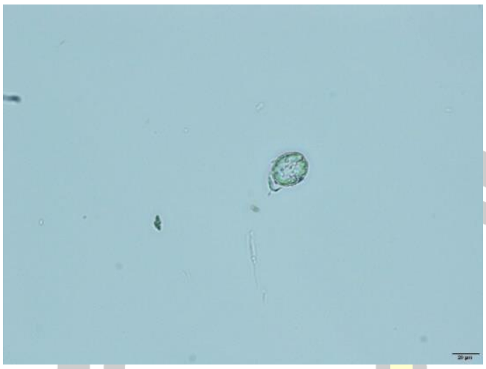
4.2.3.1 วงศ์ Euglenaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Phacus* พบ 2 ชนิดคือ *Phacus circulates* Pochmann และ *Phacus* sp. แหล่งที่พบ บ้านแกะแก้ว ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร บ้านหัวขัว คลองกุดนางใย ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล และ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 20Aและ 20B)

สกุล *Trachelomonas* แหล่งที่พบ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร และบ้านท่าสองคอน (ดังภาพประกอบ 20C)

สกุล *Euglena* พบ 2 ชนิดคือ *Euglena* sp. และ *Euglena* acus แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร, บ้านหัวขัว , ห้วย หลังวัดป่าวังเลิง คลองกุดนางใย แก่งเลิงจาน และคลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบ 20D และ 20E)

พหุํ ปญฺญา ชีเว



A) *Phacus circulates* Pochmann

B) *Phacus* sp.

C) *Trachelomonas* sp.

D) *Euglena* sp.

E) *Euglena* acus

ภาพประกอบที่ 20 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Euglenaceae

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีโว

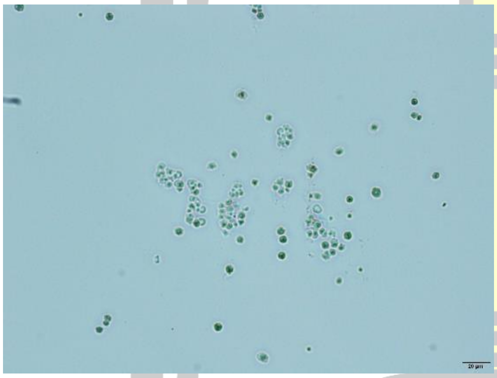
4.2.4.ดิวิชัน Chlorophyta ในการศึกษาครั้งนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในวงศ์ต่างๆดังต่อไปนี้

4.2.4.1 วงศ์ Selenastraceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Kirchneriella* พบ 2 ชนิดคือ *Kirchneriella lunaris* และ *Kirchneriella* sp. แหล่งที่พบ บ้านแกะแก้ว คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ และ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 21A และ21B)

สกุล *Monoraphidium* แหล่งที่พบ วัดเจริญผล ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร และ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบที่ 21C)

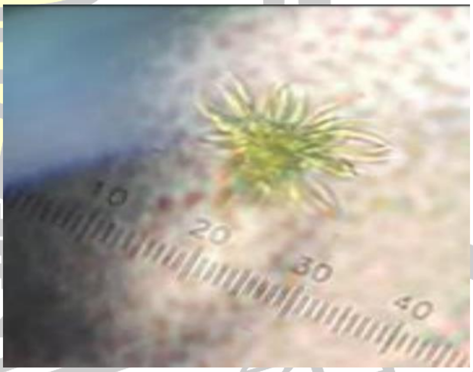
สกุล *Ankistrodesmus* แหล่งที่พบ ห้วยบ้านแพง (ดังภาพประกอบที่ 21D)



A) *Kirchneriella lunaris*

B) *Kirchneriella* sp.

C) *Monoraphidium* sp.

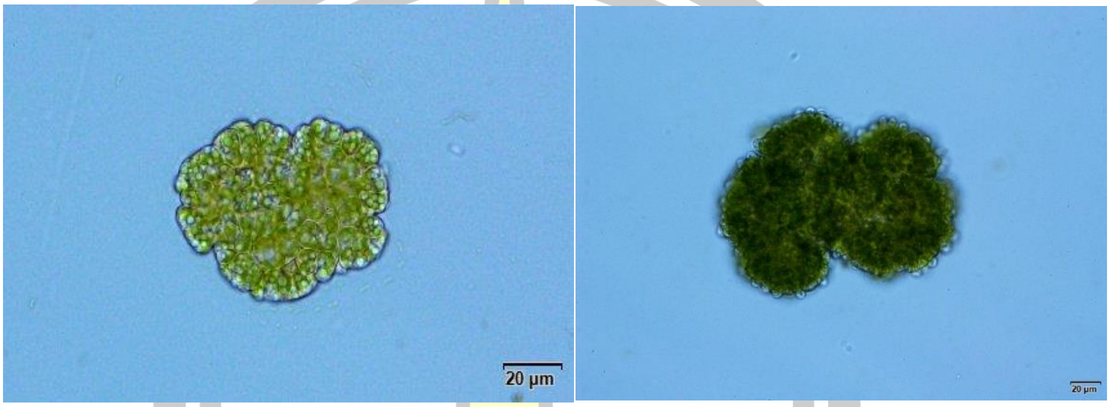


D) *Ankistrodesmus* sp.

ภาพประกอบที่ 21 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Selenastraceae

4.2.4.2 วงศ์Botryococcaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Botryococcus* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น ห้วยบ้านแพง และคลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 22A)



A) *Botryococcus* sp.

ภาพประกอบที่ 22 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Botryococcaceae

4.2.4.3 วงศ์ Desmidiaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Closterium* พบ 4 ชนิดคือ *Closterium* cornu , *Closterium* sp. , *Closterium acutum* var. *variabile* และ *Closterium* sp. แหล่งที่พบ ตึกอาร์เอ็น มมส คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ บ้านหัวขัว ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ ห้วยบ้านแพง และคลองคู บ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 23A 23B 23C และ23D)

สกุล *Cosmarium* พบ 2 ชนิดคือ *Closterium* cornu และ *Closterium* sp. แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ แม่น้ำชีหลังวัดเจริญผล ห้วยบ้านแพง และ อ่างเก็บน้ำหนองบัว (ดังภาพประกอบที่ 23F และ23 G)

สกุล *Hyalotheca* แหล่งที่พบ วัดเจริญผล (ดังภาพประกอบที่ 23E)

สกุล *Micrasterias* พบ 2 ชนิดคือ *Micrasterias foliacea Bailey* และ *Micrasterias truncata* แหล่งที่พบ อ่างเก็บน้ำหนองบัว และคลองน้ำหน้า คอนโด อาจารย์ (ดังภาพประกอบที่ 23I และ23J)

สกุล *Spondylosium* แหล่งที่พบ อ่างเก็บน้ำหนองบัว วัดเจริญผล (ดังภาพประกอบที่ 23H)

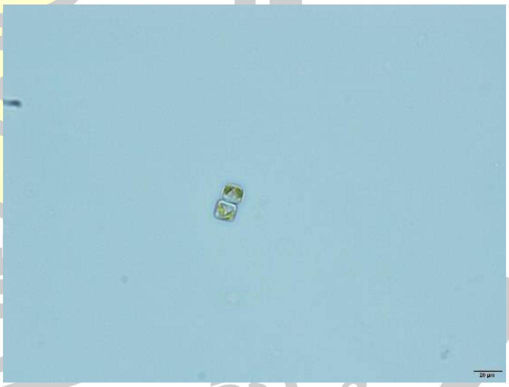
สกุล *Staurastrum* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล (ดังภาพประกอบที่ 23K)

A) *Closterium* cornu

B) *Closterium* sp.

C) *Closterium acutum* var. *variabile*

D) *Closterium* sp.

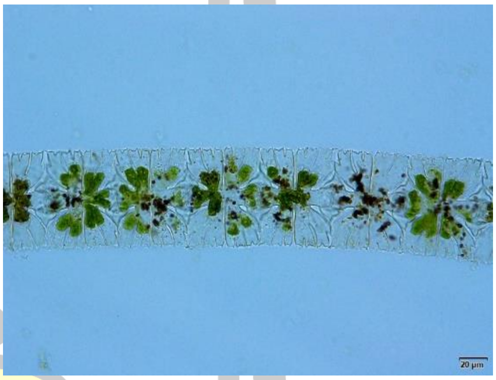


E) *Hyalotheca* sp.

F) *Cosmarium* sp.

G) *Cosmarium contractum* Kirchner var.

H) *Spondylosium* sp.



I) *Micrasterias foliacea Bailey*

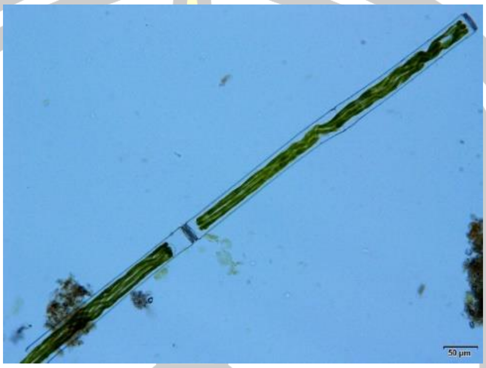
J) *Micrasterias truncata*

K) *Staurastrum* sp.

ภาพประกอบที่ 23 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Desmidiaceae

4.2.4.4 วงศ์ Gonatozygaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Gonatozygon* แหล่งที่พบ อ่างเก็บน้ำหนองบัว และ ห้วยบ้านแพง (ดังภาพประกอบที่ 24A)



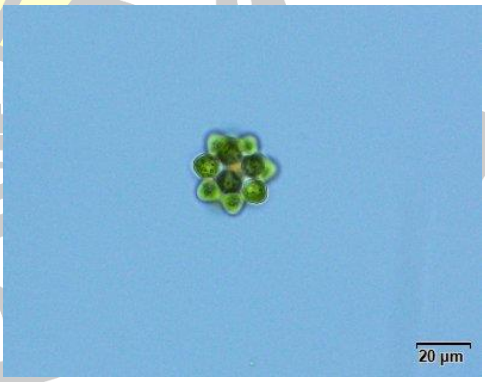
A) *Gonatozygon* sp.

ภาพประกอบที่ 24 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Gonatozygaceae

4.2.4.5 วงศ์ Scenedesmuceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Scenedesmus* แหล่งที่พบ คลองน้ำหน้าคอนโดอาจารย์ วัดเจริญผล ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล คลองกุดนางไย แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ และ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 25A)

สกุล *Coelastrum* แหล่งที่พบห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ห้วยหน้าวัดดอนหนาด บึงกุย และ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบ 25B)



A) *Scenedesmus* sp. B) *Coelastrum* sp.

ภาพประกอบที่ 25ลักษณะสาหร่ายวงศ์ Scenedesmuceae

4.2.4.6 วงศ์ Tetrasporaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Tetraspora* แหล่งที่พบตึกอาร์เอ็น มมส (ดังภาพประกอบที่ 26A)

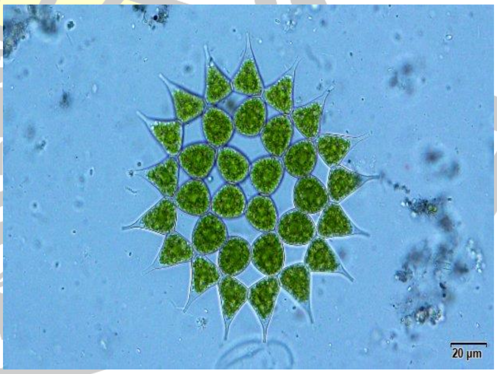
A) *Tetraspora sp.*

ภาพประกอบที่ 26 ลักษณะสาหร่ายวงศ์ Tetrasporaceae

4.2.4.7 วงศ์ Hydrodictyceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Pediastrum* พบ 2 ชนิดคือ *Pediastrum* sp. และ *Pediastrum simplex* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตึกอาร์เอ็น มมส แม่น้ำชีวัดเกิ้งเหนือ แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ วังมัจฉา และ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบที่ 27A และ27B)

สกุล *Tetraedron* แหล่งที่พบตึกอาร์เอ็น มมส คลองน้ำหน้าคอนโด อาจารย์ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร และคลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่ 27C)



A) *Pediastrum* sp.   B) *Pediastrum simplex*

C) *Tetraedron* sp.

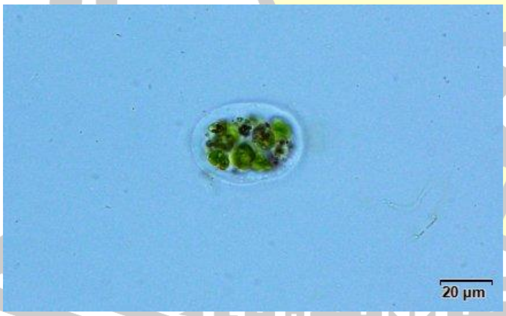
ภาพประกอบที่ 27 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Hydrodictyceae

4.2.4.8 วงศ์Volvocaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

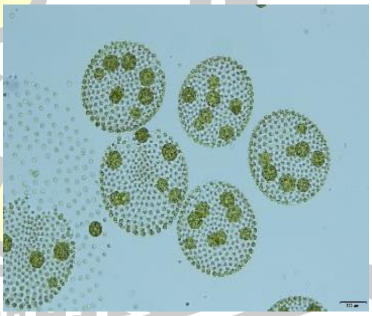
สกุล *Pandorina* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าวังน้ำเย็น และ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด (ดังภาพประกอบที่ 28A)

สกุล *Volvox* แหล่งที่พบ ห้วยหน้าวัดดอนหนาด และห้วยบ้านแพง (ดังภาพประกอบที่ 28B)

สกุล *Eudorina* แหล่งที่พบ แม่น้ำชีวัดโกสุมใต้ (ดังภาพประกอบที่ 28C)



A) *Pandorina* sp.



B) *Volvox* sp.

พหุนํ ปณฺ ฑิโต ชีเว

C) *Eudorina* sp.

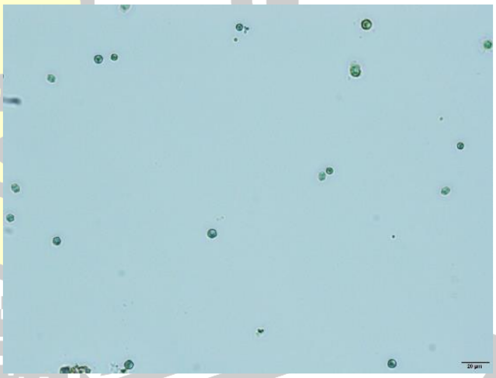
ภาพประกอบที่ 28 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Volvocaceae

4.2.4.9 วงศ์ Chlorellaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Dictyosphaerium* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบ 29A)

สกุล *Chlorella* แหล่งที่พบ บ้านแกะแก้ว ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ห้วยคะคางหอพักวิทยาลัยพยาบาล คลองกุดนางใย และ บ้านท่าสองคอน (ดังภาพประกอบ29B)

A) *Dictyosphaerium* sp.



B) *Chlorella* sp.

ภาพประกอบที่ 29 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlorellaceae

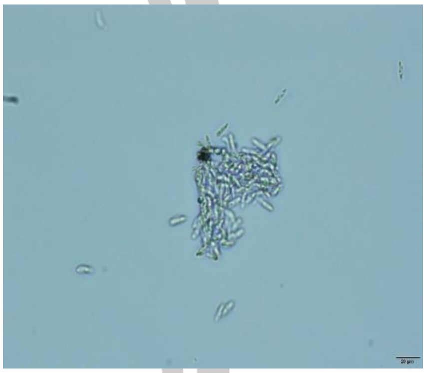
4.2.4.10 วงศ์ Oocystaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Nephrocytium* แหล่งที่พบ ตึกอาร์เอ็น มมส (ดังภาพประกอบที่30A)

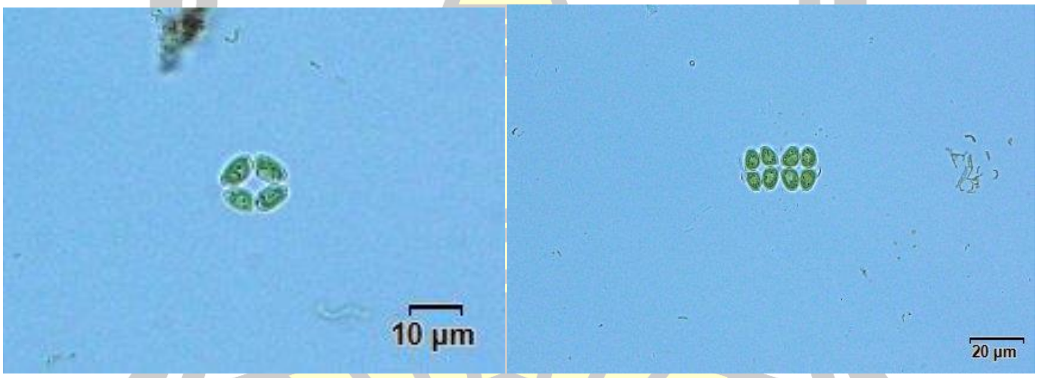
สกุล *Pesudococomyxa* แหล่งที่พบ บ้านแกะแก้ว (ดังภาพประกอบที่30B)

สกุล *Crucigeniella* แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง และ คลองกุดนางไย (ดังภาพประกอบที่ 30C)

A) *Nephrocytium limneticum*



B) *Pseudococcomyxa*



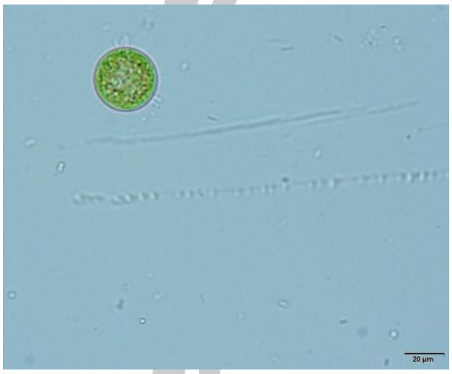
C) *Crucigeniella* sp.

ภาพประกอบที่ 30 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Oocystaceae

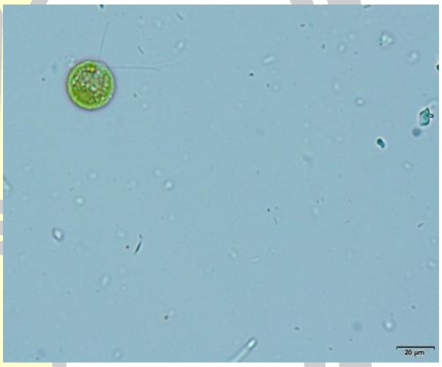
4.2.4.11 วงศ์ Chlamydomonadaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Haematococcus* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบที่ 31A)

สกุล *Chlamydomonas* แหล่งที่พบ ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร (ดังภาพประกอบที่ 31B)



A) *Haematococcus* sp.



B) *Chlamydomonas* sp.

ภาพประกอบที่ 31 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Chlamydomonadaceae

2.2.4.12 วงศ์ Zygnemataceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Spirogyra* แหล่งที่พบ บ้านท่าสองคอน และแก่งเลิงจาน (ดังภาพประกอบที่ 32A)

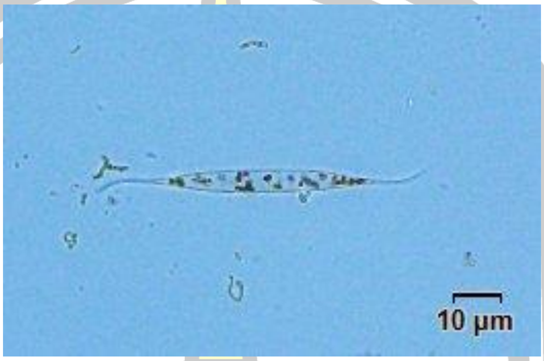
A) *Spirogyra* sp.

ภาพประกอบที่ 32 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Zygnemataceae

4.2.5. ดิวิชัน Chrysophyta ในการศึกษาครั้งนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในวงศ์ต่างๆดังต่อไปนี้

4.2.5.1 วงศ์ Centritractaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Centritractus* แหล่งที่พบ คลองคูบ้านดอนหน่อง (ดังภาพประกอบที่33A)



A) *Centritractus* sp.

ภาพประกอบที่ 33 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Centritractaceae

4.2.5.2 วงศ์ Pleurochloridaceae ซึ่งสกุลที่พบมีดังนี้

สกุล *Isthmochloron* แหล่งที่พบ ห้วยหลังวัดป่าวังเลิง (ดังภาพประกอบที่ 34A)

A) *Isthmochloron sp.*

ภาพประกอบที่ 34 ลักษณะของสาหร่ายวงศ์ Pleurochloridaceae

4.3 การตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กด้วยวิธีการย้อมสีไนล์เรด (Nile Red staining) จากตัวอย่าง 5 ชนิด และตรวจสอบจากการเทียบเคียงกับงานวิจัยต่างๆ พบว่า สาหร่ายขนาดเล็ก ในดิวิชัน Cyanophyta พบสะสมไขมัน 7 ชนิด จาก 19 ชนิด ดิวิชัน Chlorophyta สะสมไขมัน 20 ชนิด จาก 36 ชนิด ดิวิชัน Bacillariophyta สะสมไขมัน 6 ชนิด จาก 14 ชนิด ดิวิชัน Euglenophyta สะสมไขมัน 2 ชนิด จาก 5 ชนิด แต่ ดิวิชัน Chrysophyta ไม่พบชนิดที่สะสมไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 19- ตารางที่ 23 และ ภาพประกอบที่ 35 และ 36

ตารางที่ 19 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

ดิวิชัน	ชนิด	ความสามารถในการสะสมไขมัน	จุดที่สำรวจพบ
Cyanophyta	*Microcystis novacekii*	+	8
	Microcystis sp.	+	1,6,14.16,17
	Chroococcus sp.	-	
	Coelomoron sp.	+	6,8,12,14
	Merismopedia sp.	-	
	Merismopedia tenuissima	-	
	Planktolyngbya sp.	-	
	Oscillatoria sp.	+	1,5,6,7,15,16,18,19
	Oscillatoria tenuis	+	13
	Spirulina sp.	+	13,15
	Synechococcus sp.	+	6
	Pseudanabaena sp.	-	
	Jaaginema Peudogeminatum	-	
	Jaaginema sp.	-	
	Calothrix sp.	-	

ตารางที่ 20 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ความสามารถในการสะสมไขมัน	จุดที่สำรวจพบ
Cyanophyta	*Komvophoron* sp.	-	
	Mastigocladus sp.	-	
	Planktothrik sp.	-	
	Tetrastrum multisetum sp.	-	
Bacillariophyta	*Aulacoseira granulata*	-	
	Aulacoseira sp.	-	
	Gyrosigma sp.	-	
	Cymbella sp.	-	
	Cymbella tumida	-	
	Stauroneis sp.	-	
	Navicula sp.	+	1,5,6,8,11,12,14
	Pinnularia sp.	-	
	Cyclotella sp.	+	11
	Cyclotella meghiniana	+	20
	Diatoma sp.	+	4,18
	Synedra sp.	-	
	Nitzschia sp.	+	8,15
	Nitzschia improvisa	+	1

พหูบัณฑิตโต ชีเว

ตารางที่ 21 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ความสามารถในการสะสมไขมัน	จุดที่สำรวจพบ
Euglenophyta	*Phacus circulates* Pochmann	-	
	Phacus sp.	-	
	Trachelomonas sp.	-	
	Euglena acus	+	16
	Euglena sp.	+	5,6,7,17
Chlorophyta	*Kirchneriella lunaris*	+	11
	Kirchneriella sp.	+	9,12
	Monoraphidium sp.	+	6
	Ankistrodesmus sp.	+	20
	Botryococcus sp.	+	1,12
	Botryococcus braunii	+	20
	Closterium cornu	+	12
	Closterium acutum var. *variable*	+	9
	Closterium sp.	+	4,16,17
	Closterium parvulum	+	20
	Staurastrum sp.	-	
	Cosmarium sp.	-	

พหูปณ ศิโต ชีเว

ตารางที่ 22 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ความสามารถในการสะสมไขมัน	จุดที่สำรวจพบ
Chlorophyta	*Cosmarium askeasyi*	-	
	Cosmarium contractum	-	
	Hyalotheca sp.	-	
	Micrasterias truncata	+	9
	Micrasterias foliacea	+	15
	Spondylosium sp.	-	
	Gonatozygon sp.	-	
	Scenedesmus sp.	+	3,5,6,9,12.14,17,19
	Coelastrum sp.	-	
	Coelastrum microsporum	-	
	Tetraspora sp.	-	
	Pediastrum simplex	+	8
	Pediastrum sp.	+	2,4,6,17,19
	Tetraedron sp.	-	
	Eudorina elegans	-	
	Pandorina sp.	-	
	Volvox sp.	+	13,20
	Chlorella sp.	+	3,5,6,10,11
	Dictyosphaerium sp.	-	
	Crucigeniella sp.	-	

พหูปณ ศึกโต ชีเว

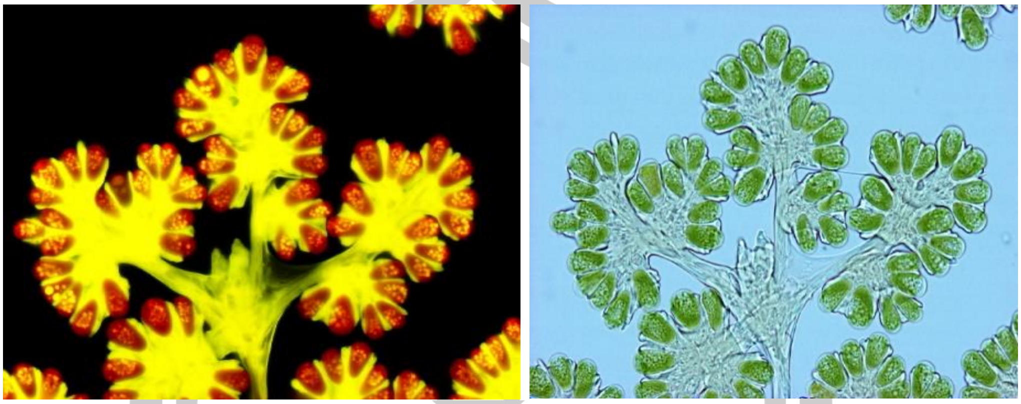
ตารางที่ 23 สาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม (ต่อ)

ดิวิชัน	ชนิด	ความสามารถในการสะสมไขมัน	จุดที่สำรวจพบ
Chlorophyta	*Nephrocytium limneticum*	-	
	Pesudococomyxa sp.	-	
	Chlamydomonas sp.	+	6
Chrysophyta	*Haematococcus* sp.	+	6
	Spirogyra sp.	+	7,10

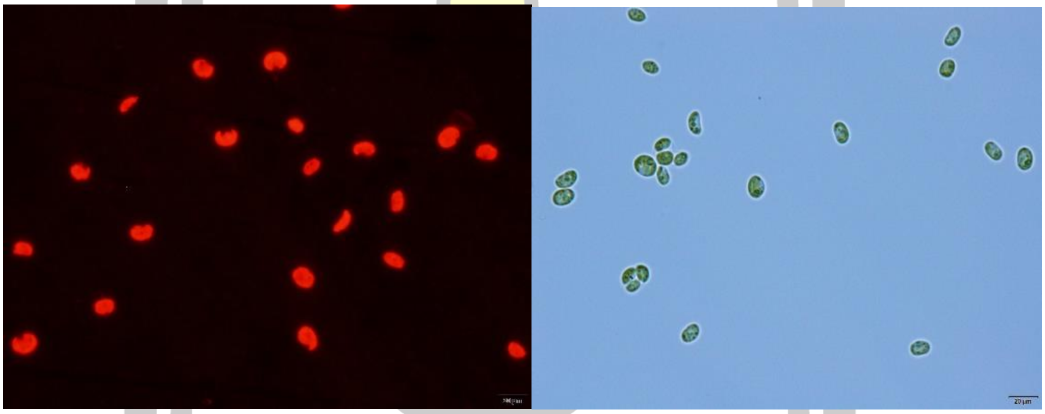
หมายเหตุ : + = พบน้ำมัน, - = ไม่พบน้ำมัน

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก5 ชนิด โดยวิธีไนล์เรด ได้ผลดังภาพประกอบที่ 35 และ 36



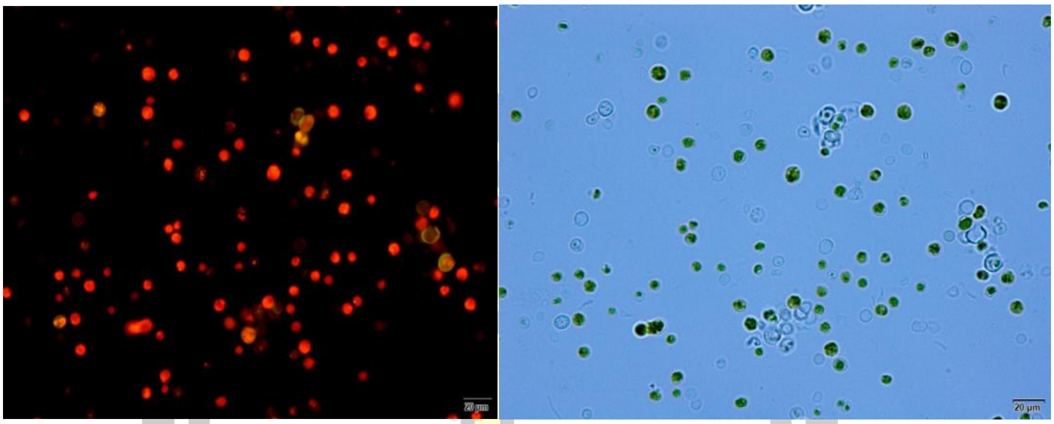
A) *Botryococcus braunii*



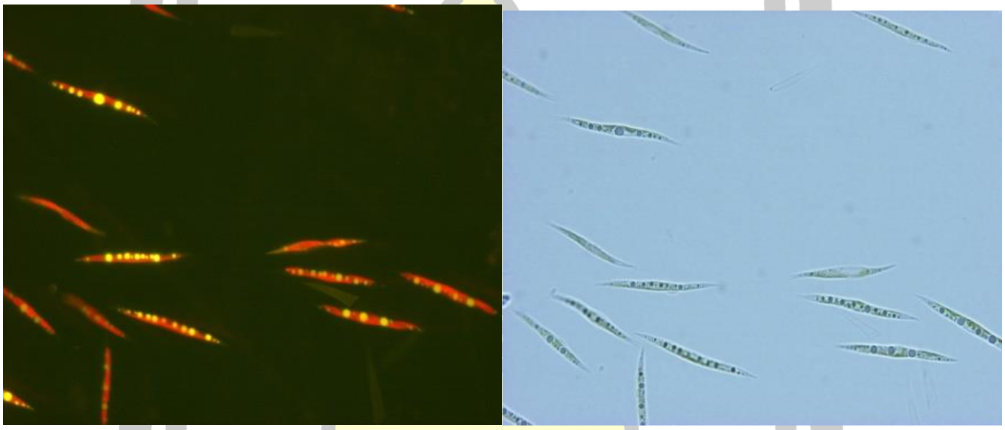
B) *Chlamydomonas* sp.

ภาพประกอบที่ 35 ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีการย้อมสีไนล์เรด

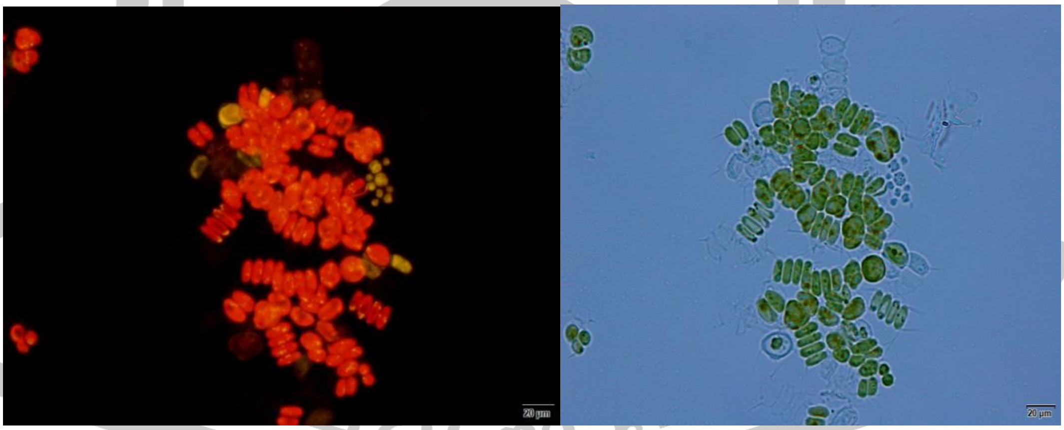
หมายเหตุ: ภาพขวาก่อนย้อมสี และภาพซ้ายหลังการย้อมสีไนด์เลด



C) *Chlorella* sp.



D) *Monoraphidium* sp.



E) *Scenedesmus* sp.

ภาพประกอบที่ 36 ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันโดยวิธีการย้อมสีไนล์เรด

หมายเหตุ: ภาพขวาก่อนย้อมสี และภาพซ้ายหลังการย้อมสีไนด์เลด

จากภาพที่ 35 และ 36 แสดงลักษณะเซลล์ของสาหร่ายที่ย้อมด้วยสีไนล์เรด ซึ่งบริเวณของเซลล์ที่มีสีเหลืองแสดงถึงมีการสะสมไขมันซึ่งแตกต่างชัดเจนกับเซลล์ก่อนย้อม ส่วนบริเวณสีแดงคือบริเวณที่มีสารอื่นๆรวมทั้งคลอโรฟิลล์ ในชนิด *Botryococcus braunii* ในการทดลองนี้ศึกษาการการสะสมไขมันในเซลล์สาหร่ายบางชนิดเท่านั้น เพราะจะต้องผ่านขั้นตอนคัดเลือกเซลล์และนำไปเลี้ยงในสารอาหาร BG 11 ทำการเลี้ยงไปเรื่อยๆจนได้เซลล์สาหร่ายชนิดเดียวที่ไม่ปนเปื้อนด้วยชนิดอื่นๆจึงจะนำไปย้อมสีไนล์เรดได้

พหูน ปณฺ ทิโต ชีเว

บทที่ 5
สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และศึกษาสภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำที่เป็นสาขาของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ทั้งหมด 20 จุด ในเขตพื้นที่ 3 อำเภอ คือ อำเภอกันทรวิชัย อำเภอเมือง และอำเภอโกสุมพิสัย ในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 พบว่าอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26.0-28.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด ด่าง อยู่ในช่วง 6.0-9.9 ค่าความลึกที่แสงส่องถึงหรือค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ในช่วง 10.0-150.0 เซนติเมตร ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 101.0-653.0 ส่วนในล้านส่วนซึ่งคุณภาพน้ำอยู่ในระดับดี ตามมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท 2-3 เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด ได้กำหนดค่าของแข็งทั้งหมดโดยการตรวจวัดด้วย Secchi Disc เท่ากับ 30.0-60.0 ซม.ค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.0-32.0 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าไม่เกิน 40.0 องศาเซลเซียส ค่าความนำไฟฟ้าในแหล่งน้ำจืดจะประมาณ 150.0-300.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งการตรวจสอบครั้งนี้มีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่อนข้างสูงแต่ไม่เกิน 1000.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีคุณภาพน้ำ (WQI) โดยกรมควบคุมมลพิษจากระบบฐานข้อมูลคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินทั่วประเทศ(IWIS) ซึ่งตรวจสอบในช่วงวันที่ 17 ถึง 19 เดือน สิงหาคม 2561 พบว่าค่าดัชนีคุณภาพน้ำของแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเฉลี่ยเท่ากับ 84 ซึ่งแสดงถึงคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี (กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2557) แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทางกายภาพบางอย่างเช่น กลิ่น และ สีของน้ำ รวมทั้งพบสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำที่ไม่ดีได้ เช่น *Euglena, Nitzschia, Spirulina, Oscillatoria, phormidium, Merismopedia phacus, Scenedesmus, Anabaena, Microcystis, Trachelomonas, Ankistrodesmus, Coelastrum, Crucigeniella, Gyrosigma, Monoraphidium, Pediastrum, Planktolyngbya, Pseudanabena, Chlorella, Chlamydomonas, Chroococcus, Pandorina, Tetraedron* และ *Volvox* เช่นจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร สภาพน้ำมีสีเขียว และมีกลิ่นเหม็นคาว ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.0-9.9 ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 101.0-653.0 ส่วนในล้านส่วนซึ่งบ่งชี้ถึงมีสารอาหารค่อนข้างสูงและพบสาหร่ายขนาดเล็กที่เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำไม่ดีคือ *Euglena Oscillatoria, Merismopedia, Scenedesmus, Microcystis, Trachelomonas, Ankistrodesmus, Coelastrum, Monoraphidium, Pediastrum, Pseudanabena, Chlorella, Chlamydomonas*

,*Chroococcus* และ *Tetraedron* ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพน้ำทั่วไปตามวิธีทางชีวภาพ (AARL-PP SCORE) (Peerapornpisal *et al.*, 2004) ที่ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้สาหร่ายเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ พบว่ามีค่า AARL-PP SCOREอยู่ในช่วง 1.7-2.4 บ่งชี้ว่ามีสารอาหารน้อยถึงปานกลาง (ปริญญา มูลสิน, 2559) รวมทั้งการศึกษาของ (ภณัฐญา สุขตลอด และคณะ, 2016) ใช้สาหร่ายเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบตามวิธี AARL-PP SCORE ได้และสอดคล้องกับการตรวจคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

5.2 ผลการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดเล็กในลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

จากการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากลุ่มแม่น้ำชีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ทั้งหมด 20 จุด ในเขตพื้นที่ 3 อำเภอ คือ อำเภอกันทรวิชัย อำเภอเมือง และอำเภอโกสุมพิสัย ในช่วงเดือนมิถุนายน 2561 พบสาหร่ายขนาดเล็ก ทั้งหมด 5 ดิวิชัน 31 วงศ์ 7 สกุล76 ชนิด ตามวิธีของ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) , (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556) , (Graham and Wilcox, 2009) และ (Bold H.C and Wynne, 1978) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด จำนวน 36 ชนิด รองลงมาคือ Cyanophyta จำนวน 19 ชนิด Bacillariophyta จำนวน 14 ชนิด Euglenophyta จำนวน 5 ชนิด และ Chrysophyta จำนวน 2 ชนิด คิดเป็น 47.37 20.25 18.42 6.58 และ 2.63 เปอร์เซ็นต์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมด ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ไพริน สุดทัง และสรัญญา วัชโรทัย, 2553) ได้ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ พบความหลากหลายของดิวิชัน Chlorophyta มากที่สุด ส่วนดิวิชันที่พบน้อยที่สุดคือ Chrysophyta และงานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2554 ซึ่งศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายในหนองเบี้ย รวมทั้งงานวิจัยของ (ปริญญา มูลสิน, 2559) ที่ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี โดยพบสาหร่ายชนิด *Spirogyra* sp.มากที่สุด รองลงมาคือ *Oedogonium* sp. แต่ ในการวิจัยนี้พบสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Scenedesmus* sp.รองลงมาคือ *Chlorella* sp. และ *Pediastrum* sp. ส่วนดิวิชัน Cyanophyta ชนิดที่พบมากที่สุดคือ *Oscillatoria* sp.

5.3. การตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก

ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กด้วยวิธีการย้อมสีไนล์เรดซึ่ง เป็นวิธีการที่สามารถตรวจสอบการสะสมไขมันได้อย่างรวดเร็ว แต่ต้องคัดเลือกเซลล์สาหร่ายให้ได้เซลล์ที่

พหุ ปณฺ ตา ชีว

บริสุทธิ์จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงเซลล์ในอาหาร BG-11 ในการวิจัยนี้คัดเลือกสาหร่าย 5 ชนิดมาตรวจสอบหาไขมันด้วยวิธีการย้อมสีไนล์เรด และสาหร่ายขนาดเล็กที่เหลือตรวจสอบการสะสมไขมันโดยเทียบเคียงกับรายงานการวิจัยที่ทำการตรวจสอบไว้แล้ว ผลการตรวจสอบจากตัวอย่างทั้งหมด 5 ดิวิชัน พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันได้ทั้งหมด 35 ชนิด โดยดิวิชัน Chlorophyta พบมากที่สุด 57.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Cyanophyta 20.00 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta 17.14 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta 5.71 เปอร์เซ็นต์ แต่ ดิวิชัน Chrysophyta ไม่พบชนิดที่สะสมไขมัน

ดิวิชันCyanophyta พบสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถสะสมไขมัน 7 ชนิด ได้แก่ *Coelomoron* sp., *Oscillatoria* sp., *O. tenuis*, *Microcystis* sp., *M. novacekii*, *Spirulina* sp. และ *Synechococcus* sp. ดิวิชัน Chlorophyta พบสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถสะสมไขมัน 20 ชนิด ได้แก่ *Monoraphidium* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Closterium* sp., *C. parvulum, C. actum, C. cornu, Kirchneriella* sp., *K. lunaris, Botryococcus* sp., *B. braunii*, *Micrasterias foliacea* , *M. truncata*, *Pediastrum* sp., *P. simplex, Scenedesmus* sp., *Chlorella* sp., *Volvox* sp., *Chlamydomomas sp., Haematococcus* sp. และ *Spirogyra* sp. ดิวิชัน Bacillariophyta 6 ชนิด ได้แก่ *Navicula* sp. *Cyclotella* sp. *C. meghiniana, Diatom* sp., *Nitzchia* sp., *N. improvisa* และ Euglenophyta 2 ชนิด ได้แก่ *Euglena* sp. และ *E. acus* แต่ไม่พบชนิดสาหร่ายที่สะสมไขมันในดิวิชัน Chrysophyta ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบจำนวนชนิดสาหร่ายที่สะสมไขมันมากกว่าหนองเบี้ยและ หนองควายตก อำเภอไชยปราการ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สำรวจพบสาหร่ายทั้งหมดเพียง 10 และ 11 ชนิดตามลำดับ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2554) รวมทั้งมากกว่าจำนวนชนิดของสาหร่ายทั้งหมดที่พบที่ อ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี ที่พบสาหร่ายทั้งหมดเพียง 20 เท่านั้น (ปริญญา มูลสิน, 2559)

ในการศึกษานี้ได้ทำการแยกสาหร่ายด้วยไมโครปิเปตแล้วนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร BG-11 เพื่อทำการตรวจสอบการสะสมไขมันด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด และเมื่อพบไขมันในเซลล์จะเรืองแสงสีเหลืองเมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ (Rattanapoltee P. and Kaewkannetra P, 2013) (Gusbeth CA *et al*., 2016) ในงานวิจัยนี้เห็นสีเหลืองชัดเจนมากที่สุดในสาหร่ายชนิด *B. braunii* ที่เก็บได้จาก 3 จุดคือที่ 1 ห้วยคะคางใกล้วัดป่าวังน้ำเย็น ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จุดที่ 12 คูคลองบ้านดอนหน่อง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย และจุดที่ 20 ห้วยบ้านแพงตำบลบ้านแพง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งสาหร่ายชนิดนี้มีรายงานว่าพบไขมันในเซลล์มากประมาณ 29-75 ชนิดของน้ำหนักแห้ง มีไขมันมากอันดับสองรองจากสาหร่ายชนิด *Schizochytrum* sp. มีน้ำมันมากที่สุดคือ 50-77 ชนิดของน้ำหนักแห้ง (Abishek M.P., 2014) (Metzger and Largeau.,2005) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, และศักดิ์ชัย

ชูโชติ, 2555) ได้ทำการคัดเลือกสาหร่ายที่สะสมไขมันไบโอดีเซลพบว่า *Botryococcus braunii* มีไขมันมากที่สุด 13.2±0.2% และกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ กรดปาลมิติก Prasertsin and Peerapornpisal (2018) ทำการคัดแยกและตรวจสอบความสามารถในการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด 39.25±0.32% โดยน้ำหนักแห้ง Boni *et al.*, (2018) ศึกษาน้ำมันจาก *Botryococcus braunii* เพื่อศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล ด้วยวิธีการสกัดแบบซอกซ์เล็ต (Soxhlet) Dilia and Leila (2018) พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณของกรดโอเลอิกอยู่ระหว่าง 15.65-35.85 เปอร์เซ็นต์ กรดไลโนเลอิก 3.05-23.15เปอร์เซ็นต์ กรดปาล์มิติก 4.03-22.13 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก 0.48-15.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวแปรในการเลือกน้ำมันจากสาหร่ายชนิดนี้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากอัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวไม่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้มีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันสาหร่ายในการผลิตเชื้อเพลิงเครื่องบิน ซึ่งผลิตโดยโรงกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงสาหร่ายแห่งแรกในญี่ปุ่น โดยจะนำไปใช้กับเครื่องบินเจ็ทในปริมาณ 33,000 แกลลอนต่อปี ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มความสำเร็จในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายในอนาคต

งานวิจัยนี้คัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กมา 5 ชนิดเพื่อตรวจสอบการสะสมไขมันได้แก่ *Scenedesmus* sp., *Chlamydomonas* sp., *Chlorella* sp., *Botyococcus braunii* และ *Mononraphidrium* sp. ส่วนสาหร่ายที่ไม่ได้ทดสอบย้อมสีไนด์เรดสามารถตัดสินว่ามีการสะสมไขมันได้จากบทความวิจัย หนังสือ และรายงานการวิจัยต่างๆ อาทิเช่น *Monoraphidium* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Coelomoron* sp., *Oscillatoria* sp., *O. tenuis*, *Microcystis* sp., *M. novacekii*, *Spirulina* sp., *Synechococcus* sp. *Closterium* sp., *C. parvulum*, *C. actum*, *C.cornu*, *Kirchneriella* sp., *K. lunaris*, *Botryococcus* sp., *B. braunii*, *Micrasterias foliacea* Bailey, *M. truncata*, *Pediastrum* sp., *P. simplex*,, *Volvox* sp., *Haematococcus* sp., *Spirogyra* sp., *Navicula* sp. *Cyclotella* sp. *C. meghiniana*, *Diatom* sp., *Nitzchia* sp., *N. improvisa*, *Euglena* sp. และ *E. acus* (Abishek,M.P., 2014) ; (Metzger, 2005); (Becker EW, 1994) ; (Patel, 2017) ; (Dehaghani, 2018) และได้มีงานวิจัยอื่นๆที่สนับสนุนการสะสมไขมันของสาหร่ายขนาดเล็กอาทิเช่น (อรพรรณ พรหมธนพันธ์ และรัฐภูมิ พรหมณะ, 2556) ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สกัดด้วยเอกเซนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า *Spirogyra* sp. มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด 14.05±3.00 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักน้ำมันต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง) รองลงมาคือ *Microcystis* sp.13.35±3.00 เปอร์เซ็นต์ และน้อยที่สุดใน *Cladophora* sp. 5.84±0.10 เปอร์เซ็นต์ และผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สามารถนำมาพัฒนาในการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของ

น้ำมันไบโอดีเซลได้ (ภาณินี จรุงกีรติวิมล และคณะ, 2559) ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญและการสะสมไขมันในเซลล์เปียกของสาหร่ายขนาดเล็กพบว่า *Chlorella* sp. ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 32.814 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและเมื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณไขมันพบว่ามีความเหมาะสมในการสะสมไขมันไบโอดีเซล (Abdo *et al.*, 2013) ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดไขมันและปริมาณน้ำมันทั้งหมดของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวน 19 สายพันธุ์ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจากแม่น้ำไนล์ของยีอิปต์ จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร BG-11 ก่อนทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตและตรวจสอบปริมาณน้ำมันพบว่า *Microcystis aeruginosa* มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ 30เปอร์เซ็นต์ (Nascimento *et al.*, 2014) วิเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเปรียบเทียบกับน้ำมันจากพืช พบว่าน้ำมันจากสาหร่าย 6 สายพันธุ์มีผลผลิตของน้ำมันที่สูงกว่า 40 มิลลิลิตร 1^{-1}day^{-1} และ *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมัน 45.0±3.6เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง Abdo *et al.*, (2014) ทำการแยกสาหร่ายสะสมไขมันเพื่อเป็นกุญแจสำคัญในการสะสมไขมันไบโอดีเซล โดยตรวจสอบการสะสมไขมันด้วยเทคนิคการย้อมสีไนล์เรด และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ที่ค่า excitation 450-490 นาโนเมตร และค่า emission 515 นาโนเมตร โดยนิวทรัลลิพิดหรือไตรกลีเซอไรด์จะปรากฏจุดสีเหลือง และพบว่า *Microcystis aeruginosa* ปรากฏสีเหลืองชัดเจนและมีปริมาณไขมันสูงถึง 30±0.3 เปอร์เซ็นต์ (Patel VK, Sundaram S, Patel AK, 2017) ศึกษาผลจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของไซยาโนแบคทีเรียทั้งหมด 7 สายพันธุ์ เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยวัดการเจริญเติบโต ชีวมวล คาร์โบไฮเดรตและไขมัน พบว่า *Oscillatoria* sp. มีปริมาณไขมัน 8.9 เปอร์เซ็นต์ Prasertsin and Peerapornpisal, (2018) ทำการคัดแยกและตรวจสอบความสามารถในการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า *Botryococcus braunii* มีปริมาณน้ำมันมากที่สุด 39.25±0.32 เปอร์เซ็นต์ 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 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Unpaprom *et al.*, (2015) รายงานการวิจัยการการพัฒนาและศึกษาวิธีการนำน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ในการผลิตพลังงานชีวภาพ โดยได้ทำการเพาะเลี้ยง *Scenedesmus acuminatus* ในน้ำทิ้งจากโรงเลี้ยงสุกร เพื่อการบำบัดของเสียคู่กับการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะผลิตไบโอดีเซลจากชีวมวลของสาหร่ายเปียกโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการอบแห้ง (Dehaghani AHS and Vahid Pirouzfar, 2018) ศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กระหว่าง *Chlorella* sp. และ *Spirulina platensis* พบว่า *Chlorella* sp. มีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่า

เนื่องจากเจริญเติบโตเร็ว ผลผลิตชีวมวลสูง มีปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่เหมาะสม (C14:0, C16:0 และ C18:0) ซึ่งเป็นสารประกอบของกรดไขมันทั่วไปในไบโอดีเซล

5.4 สรุปผล

5.4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี พบว่าอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26.0-28.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.0-9.9 ค่าความลึกที่แสงส่องถึงหรือค่าความโปร่งใสของน้ำอยู่ในช่วง 10.0-150.0 เซนติเมตร ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 122.0-1304.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่าของแข็งที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 101.0-653.0 ส่วนในล้ายส่วน คุณภาพน้ำทางชีวภาพคือพบสาหร่ายชนิดเด่นที่บ่งชี้คุณภาพปานกลางถึงไม่ดี ได้แก่ สกุล *Euglena, Nitzschia, Spirulina, Oscillatoria, Phormidium, Merismopedia Phacus, Scenedesmus, Anabaena, Microcystis, Trachelomonas, Ankistrodesmus, Coelastrum, Crucigeniella, Gyrosigma, Monoraphidium, Pediastrum, Planktolyngbya, Pseudanabena, Chlorella, Chlamydomonas, Chroococcus, Pandorina, Tetraedron* และ *Volvox* ซึ่งจุดที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร พบมากที่สุด

5.4.2 ผลการจำแนกสาหร่ายขนาดเล็ก พบสาหร่ายขนาดเล็กทั้งหมดจำแนกได้ 5 ดิวิชัน จำแนกได้ 76 ชนิด โดยสาหร่ายขนาดเล็กในดิวิชัน Chlorophyta มีความหลากหลายมากที่สุด จำนวน 36 ชนิด รองลงมาคือ Cyanophyta จำนวน 19 ชนิด Bacillariophyta จำนวน 14 ชนิด Euglenophyta จำนวน 5 ชนิด และChrysophyta จำนวน 2 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 47.37 20.25 18.42 6.58 และ 2.63 ของสาหร่ายขนาดเล็กที่พบทั้งหมดตามลำดับ

5.4.3 ผลการตรวจสอบการสะสมไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันได้ทั้งหมด 35 ชนิด โดยดิวิชัน Chlorophyta พบมากที่สุด 57.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Cyanophyta 20.00 เปอร์เซ็นต์ Bacillariophyta 17.14 เปอร์เซ็นต์ Euglenophyta 5.71 เปอร์เซ็นต์ แต่ดิวิชัน Chrysophyta ไม่พบชนิดที่สะสมไขมัน งานวิจัยนี้สาหร่ายขนาดเล็กสะสมไขมันหลายชนิดมีรายงานการศึกษาในประเทศไทย แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาในลุ่มแม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

5.4.4 สาหร่ายขนาดเล็กสะสมไขมันที่มีปริมาณไขมันสะสมในเซลล์มากที่สุดคือ *Botryococcus braunii* Kützing เพราะเมื่อตรวจสอบโดยการย้อมสีไนล์เรดพบเซลล์มีสีเหลืองมากที่สุดสังเกตเห็นได้ชัดเจนซึ่งพบสาหร่ายชนิดนี้จาก 3 จุดคือ จุดที่ 1 ห้วยคะคางใกล้วัดป่าวังน้ำเย็น

ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จุดที่ 12 แหล่งน้ำหนองคู บ้านดอนหน่อง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย และจุดที่ 20 ห้วยบ้านแพง ตำบลบ้านแพง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม

5.4.5 จุดที่ 6 ห้วยคะคางวัดป่าศุภมิตร ตำบลตลาด อำเภอเมือง พบมีความหลากหลายของชนิดสาหร่ายขนาดเล็กที่สะสมไขมันมากชนิดที่สุดคือจำนวน 12 ชนิด จุดที่พบน้อยชนิดที่สุดเพียง 1 ชนิด คือจุดที่ 2 วังมัจฉา ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 การใช้สีย้อมสีไนล์เรดเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบนิวทรัลลิปิดในสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ แต่ไม่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมัน เช่น ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมัน ค่ากรดไขมันอิ่มตัวหรือค่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นควรศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของน้ำมันที่ได้เพื่อประสิทธิภาพในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

5.5.2 ในการศึกษานี้ประเมินการสะสมไขมันโดยดูผลจากความเข้มของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนต์โดยปรากฏจุดหรือคราบสีเหลือง แต่ไม่สามารถระบุค่าที่เป็นตัวเลขได้ ดังนั้นอาจศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวปริมาณน้ำมัน โดยวิธีการสกัด อาจสกัดด้วยวิธีทางกายภาพ (physical extraction) เช่น การบด (mechanical crushing) วิธีออสโมติกช็อค (osmotic shock) วิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิก (ultrasonic extraction) หรือการสกัดด้วยวิธีทางเคมี (Chemical extraction) เช่น วิธีการสกัดแบบซอกซ์เล็ต (Soxhlet extraction) การสกัดวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluids method)

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ (2557) *คุณภาพน้ำและการจัดการ*, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร

กังสดาลย์ บุญปราบ, คุณากร แก้วมณี, ทรงพล แพทย์พิทักษ์, จารุวรรณ วิชัยพรหม, สรายุธ สามัตถิยากร (2558) ไบโอดีเซลล์จากสาหร่ายกลุ่มแมคโครอัลจีของไทย (Biodiesel from Thai macro algae). *วารสารวิทยาศาสตร์การประมง*, ฉบับที่ (1–2), 64–77.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์ (2527) *สาหร่าย*. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง . กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษม จันทร์แก้ว (2541) *การวางแผนและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.* กรุงเทพมหานคร กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

คุณากร แก้วมณี, ทรงพล แพทย์พิทักษ์ และ จารุวรรณ วิชัยพรหม (2009) ปัญหาพิเศษ *เรื่องการผลิตไบโอดีเซลล์จากสาหร่าย.* Biodiesel Production from Algae), ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 2009. 63.

ปริญญา มูลสิน (2559) ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่และคุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* 39(1), 37-50.

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

ไพริน สุดทัง, สรัญญา วัชโรทัย, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ ณัฏฐา เสนีวาส (2553) ความหลากหลายของสาหร่ายแนวดิ่งในบึงบอระเพ็ดจังหวัดนครสวรรค์. *พฤกษศาสตร์ไทย*, 2 (พิเศษ), 21-31.

ภณัฐญา สุขตลอด, รักษวิชช์ ปรัสพันธ์, สุดา รักชาติ, ธัญญามาศ เพชรพูล, ปิยนุช เกิดสมบัติ และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ (2016) การใช้สาหร่ายเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 7(1), 14-27.

ภาณินี จรุงกีรติวิมล, จารุวรรณ ชลสงคราม, วีระสิทธิ์ สรรพมงคลไชย, สุมัลลิกา โมลากุล และ ประมุข ภระกูลสุขสถิต (2559) *การเปรียบเทียบการเจริญและการผลิตลิพิดระหว่าง Ankistrodesmus* sp. IFRPD No. 1061 และ *Chlorella* sp. IFRPD No. 1092 *ในบ่อเปิดแบบรางคู่. เรื่องการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54: สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาพันธุวิศวกรรม สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.* 2-5 กุมภาพันธ์ 2559, กรุงเทพฯ, ภาคเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า

1004-1011.

มะลิ บุญรัตผลิน, ศีรี กออนันตกุล, บุญส่ง ศรีเจริญธรรม, ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์, อภิชาติ เติมวิชชากร, วิระธรรม ทองพันธุ์ และ มณฑรพ กากแก้ว (2545) นิเวศวิทยา ชีววิทยาปลา และสภาวะการประมงในพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามตอนล่าง. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 6 / 2545.* สำนักงานวิชาการ, กรมประมง. 191 หน้า.

ยุวดี พีรพรพิศาล (2546) *สาหร่ายวิทยา (phycology).* พิมพ์ครั้งที่1. เชียงใหม่, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล (2556) *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย* พิมพ์ครั้งที่2. เชียงใหม่, โชตนาพริ้นท์จำกัด.

ลัดดา วงศ์รัตน์ (2540) *คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน.* พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์ (2542) *แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton).* พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ศรีสุวรรณ เกษมสวัสดิ์ (2555) *คุณภาพน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างยั่งยืนในเขตพื้นที่อำเภอบางคนทีจังหวัดสมุทรสงคราม.* รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. (2537). *สาหร่ายวิทยาประยุกต์.* เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [2554] *สาหร่ายน้ำมัน : น้ำมันในอนาคต*! [ออนไลน์] ได้จาก http://www.erdi.cmu.ac.th/index.php/article [สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2562]

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. [2554] *โครงการสำรวจสถานภาพพื้นที่ชุ่มน้ำประเภทหนองบึงน้ำจืดของประเทศไทย.*[ออนไลน์]ได้จาก http://www.wetland.one.go.th/Report [สืบค้นเมื่อ16 เมษายน 2562]

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ มณฑล แก่นมณี (2555) *การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวลเพื่อความเป็นไปได้ในการผลิต*

เชื้อเพลิงชีวภาพ. ประจำปีงบประมาณ 2555. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อาภารัตน์ มหาขันธ์ [2556] *มีความหวังกลั่นน้ำมันจากสาหร่าย.* สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [ออนไลน์] http://ostc.thaiembdc.org/13th/blog [สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2562]

Abdo SM, Ahmed E, El-Enin SA, El Din RS, D. G. and A. 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.

Abishek, M.P., J. P. and A. P. P. [2014] *Algae Oil: A Sustainable Renewable Fuel of Future*. *Biotechnology Research International*. [Online]. Available from http://researchgate.net. [Cite 3 July 2019].

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

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

Bold H.C and Wynne. (1978). *Introduction to the algae*. Structure and Reproduction Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi

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

Boonprab, K.,K.Kaewmanee, S.Patpitak and J.Vichaiprom. (2009). Biodiesel from Freshwater Algae, *Cladophora glomerata*. *phycologia* 48 (4) :11p.

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

Chen, W., M. Sommerfeld, Q. Hu (2011) Microwave-asistanted Nile red method for in vivo quantification of neutrals lipid in microalgae. *Bioresource Technology*, (102), 135-141.

Danielo, O. [2005] *An algae-based fuel*. Biofutur, [Online]. Available from http://climatebabes.com. [Cite 3 July 2019].

Dehaghani AHS and Vahid Pirouzfar. (2018) Investigation on the Effect of Microalgae

พหุน ปณฺ ตา โต ชีเว

Chlorella sp. and *Spirulina* on Biodiesel Production. *Petroleum Chemistry*, *58*(8), 702–708.

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

Gusbeth CA., Eing C, Göttel M, Sträßner R and Frey W [2016] Fluorescence Diagnostics for Lipid Status Monitoring of Microalgae during Cultivation. *Journal of Renewable Energy & Biofuels*, 1-12. [Online]. Available from http://researchgate.net. [Cite 3 July 2019].

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 (ID695061), 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*, 1–5.

Malapascua JR, Chou HN, L. W. and L. J. (2012) Development of an indirect method of microalgal lipid quantification using a lysochrome dye. Nile Red. *African Journal of Biotechnology*, *11*(70), 13518–13527.

Material ConneXion. [2012] Grow Algae & Change the World. [Online]. Available from http://web-japan.org. [Cite 13 July 2019].

Metzger, P. and C. L. (2005). *Botryococcus braunii* : a rich source for hydrocarbons and related lipids. *Appl Microbid Biotechnol*, *66*, 486–496.

Miao X, W. Q. and Y. 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, S. C., & Druzian JI, H. J. and L. W. (2014) Microalgae Versus Land Crops as Feedstock for Biodiesel: Productivity, Quality, and Standard Compliance. *BioEnergy Research*, (7), 1002–1003.

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

Peerapornpisal, Y., Chaiubol, C., Pekkoh, J., Kraibut, H., Chorum, M., Wannathong, P.,

Ngearnpat, N., Jusakul, K., Thammathi-wat, A., Chuanunta, J. and Inthasotti, T. (2004) Monitoring of water quality in Ang Kaew reservoir of Chiang Mai University using phytoplankton as bioindicator from 1995-2002. Chiang Mai. *Journal of Science*, *31*(1), 85–94.

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*, 26(2), 937-949.

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนุสรา คำแก้ว
วันเกิด	วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2533
สถานที่เกิด	79 หมู่ 11 บ้านหนองตอ ตำบลหัวช้าง อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45180
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 137/16 บ้านสวนสารคาม 1 ตำบล ขามเรียง อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัด มหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจตุรพักตรพิมานรัชดาภิเษก จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ 2556 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาชีววิทยาศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม