



การคัดเลือกสายพันธุ์และความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและ
แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูง ในน้ำพุร้อนบางแห่งบริเวณ
ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Screening and Biodiversity of Thermotolerant Cyanobacteria and Photosynthetic
Bacteria in Some Hot Spring Areas in the Upper Part of Northern Thailand

ยุวดี พิรพรพิศาล
หัวหน้าโครงการ

IST/CMU

1/01

May, 2001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © Chiang Mai University
All rights reserved

ก

การคัดเลือกสายพันธุ์และความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรีย
สังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูงในน้ำพุร้อนบางแห่งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Screening and Biodiversity of Thermotolerant Cyanobacteria and Photosynthetic Bacteria
in Some Hot Spring Areas in the Upper Part of Northern Thailand

ยุวดี ฟ้าพรพิศาล

ฉัตรชัย กิติพรชัย

วัชรชัย เจริญมาก

วราภรณ์ ปานอยู่

อุดมลักษณ์ สมพงษ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พฤษภาคม 2544

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การคัดเลือกสายพันธุ์และความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูงในน้ำพุร้อนบางแหล่งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย” ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดีในระดับที่น่าพอใจ ทั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากหลายฝ่าย ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านและทุกหน่วยงานไว้ดังนี้

สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้จัดสรรทุนวิจัย ผู้อำนวยการสถาบัน ฯ ในอดีต คือ อาจารย์ ดร. อนุสรณ์ อินทรมณี และรองศาสตราจารย์ ดร. เจษฎา เกษมเศรษฐ์ ผู้อำนวยการสถาบัน ฯ ปัจจุบัน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายของสถาบัน ที่ให้ความร่วมมือด้วยดีในทุกด้านตลอดมา

หัวหน้าอุทยานแห่งชาติซึ่งเป็นที่ตั้งของน้ำพุร้อนที่ได้ทำการวิจัยทั้ง 9 แห่ง คือ น้ำพุร้อนสันกำแพง กิ่งอำเภอแม่ออน น้ำพุร้อนโป่งเดือด อำเภอแม่แตง น้ำพุร้อนเทพนม อำเภอแม่แจ่ม น้ำพุร้อนแม่ฝาง อำเภอฝาง โป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด อำเภอคอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ น้ำพุร้อนห้วยหมากเหลี่ยม อำเภอเมือง โป่งน้ำร้อนแม่จัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง และ น้ำพุร้อนท่าปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งทุกท่านได้ให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายและศึกษาคุณภาพน้ำ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในทุกด้านขณะที่การวิจัยยังดำเนินการอยู่

โครงการ JSPS-NRCT ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนคณะผู้วิจัยไปฝึกอบรมเกี่ยวกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูง และเสนอผลงานการวิจัยในเรื่องนี้ ณ Department of Biotechnology Faculty of Graduate School and Life Sciences มหาวิทยาลัยโตเกียว และมหาวิทยาลัยยามากูชิ ประเทศญี่ปุ่น

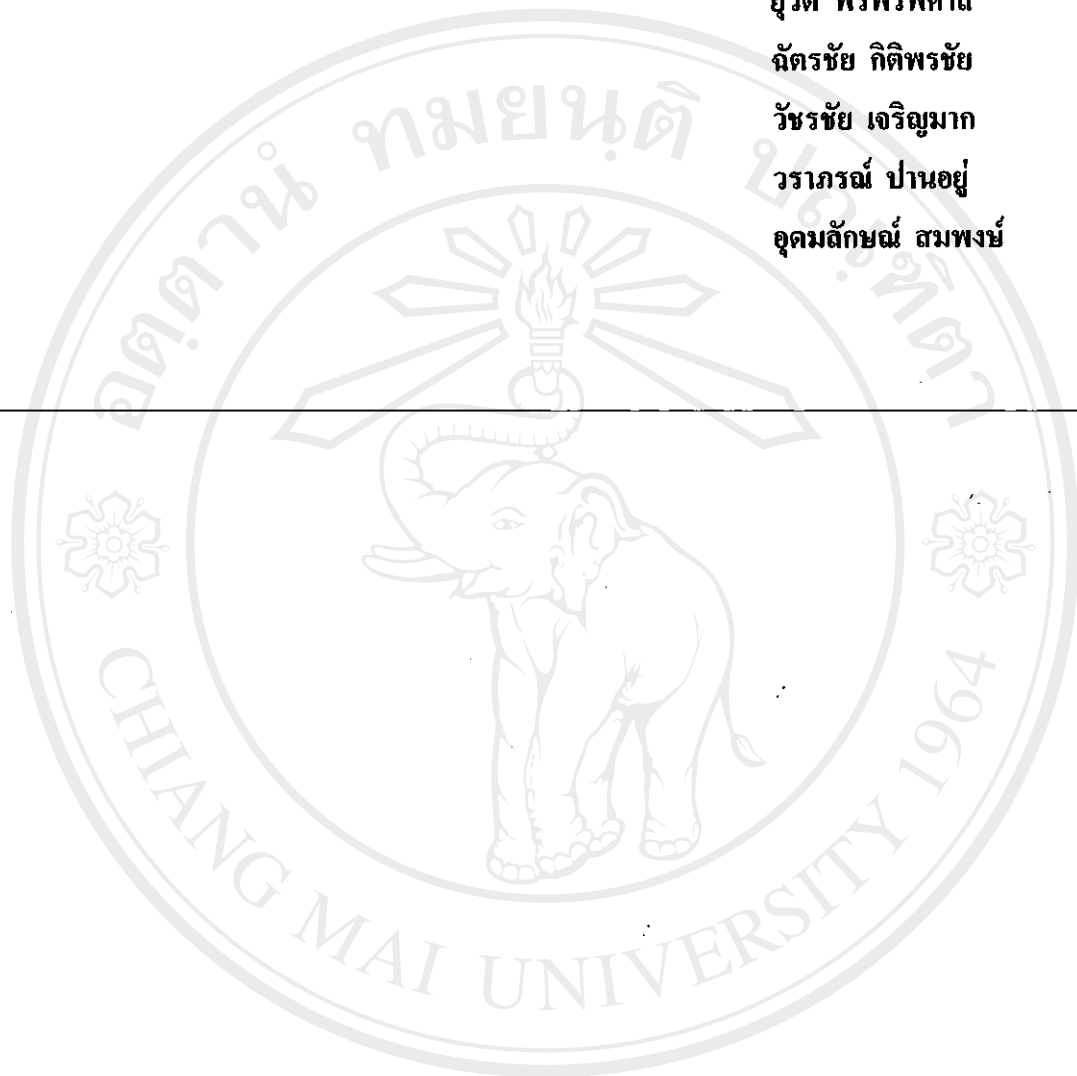
คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Prof. Dr. Yasuo Igarashi, Assoc. Prof. Dr. Masaharu Ishii แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว และ Prof. Dr. Y. Adashi แห่งมหาวิทยาลัยยามากูชิ ที่มีส่วนสนับสนุนทางด้านวิชาการเกี่ยวกับงานวิจัยในเรื่องนี้เป็นอย่างดี

สมาชิกในหน่วยวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายและแพลงก์ตอน ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทุกท่านที่มีส่วนอย่างสำคัญในการออกเก็บตัวอย่าง ศึกษาคุณภาพน้ำ รวมทั้งการวินิจฉัยสาหร่ายที่ศึกษาตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชา ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนการวิจัยในเรื่องนี้ ทั้งทางด้านวัสดุ อุปกรณ์และสถานที่

ทุกท่านและทุกหน่วยงานที่กล่าวมามีความสำคัญต่อการวิจัยในเรื่องนี้อย่างมาก ความดีอัน
เนื่องมาจากผลงานของการวิจัยทั้งหมดจึงขอมอบแด่ทุกท่าน

ยุวดี พิรพรพิศาล
ฉัตรชัย กิติพรชัย
วัชรชัย เจริญมาก
วรารณ ปานอยู่
อุดมลักษณ์ สมพงษ์



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทคัดย่อ

จากการคัดเลือกและศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ น้ำพุร้อนสันกำแพง กิ่งอำเภอแม่ออน น้ำพุร้อนโป่งเดือด อำเภอแม่แตง น้ำพุร้อนเทพนม อำเภอแม่แจ่ม น้ำพุร้อนแม่ฝาง อำเภอฝาง และโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด อำเภอคอยสะเก็ด จังหวัด เชียงใหม่ น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง น้ำพุร้อนท่าปาย อำเภอปาย จังหวัด แม่ฮ่องสอน โป่งน้ำร้อนแม่จัน อำเภอแม่จัน และน้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัด เชียงราย ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงเดือนกันยายน 2543 เก็บตัวอย่างและศึกษาสาหร่ายสีเขียว แกมน้ำเงินจากช่วงอุณหภูมิ 30-80°C สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินออกเป็นเชื้อบริสุทธิ์ได้ 8 สปีชีส์ คือ *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler (68°C), *Lyngbya limnetica* Lemmermann (46°C), *Lyngbya perelegans* Lemmermann (43°C), *Mastigocladus laminosus* Cohn (41 และ 49°C), *Phormidium* sp. (42°C), *Synechococcus bigranulatus* Skuja (62°C), *Synechococcus lividus* Copeland (50°C) และ *Synechococcus* sp. (73°C) และจากการศึกษาความทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง ที่ 30, 45, 55 และ 70°C พบว่าทุกสปีชีส์เป็น thermotolerant blue-green algae ส่วนแบคทีเรีย สังเคราะห์แสงเก็บตัวอย่างจากช่วงอุณหภูมิ 60-80°C เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 70°C สามารถแยกเป็น เชื้อบริสุทธิ์ได้ 1 สปีชีส์ คือ *Chloroflexus* sp.

ความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงใน น้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่ง พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด 21 genera 39 species สาหร่ายสีเขียว แกมน้ำเงินที่พบมากที่สุดอยู่ใน Order Chroococcales พบ 18 สปีชีส์ รองลงมาคือสาหร่ายใน Order Oscillatoriales 14 สปีชีส์ สาหร่ายใน Order Nostocales 6 สปีชีส์ และสาหร่ายใน Order Stigonematales 1 สปีชีส์ ตามลำดับ และน้ำพุร้อนเทพนมมีความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียว แกมน้ำเงินมากที่สุดโดยพบทั้งหมด 32 สปีชีส์ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็น dominant species ของทุกแหล่งน้ำคือ *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom ซึ่งพบมากในช่วง อุณหภูมิ 55-57 °C และ *Synechococcus bigranulatus* *Synechococcus lividus* และ *Synechococcus* sp. พบมากในช่วงอุณหภูมิ 65-72 °C การศึกษาจำนวนชนิดตามช่วงอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 40-49°C มีจำนวนชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุด คือ 38 สปีชีส์ รองลงมาคือ 30-39°C, 50-59°C, 60-69°C และ 70-80°C ตามลำดับ ความหลากหลายของสาหร่ายที่พบมีความสัมพันธ์ เชิงบวกกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิและปริมาณซัลไฟด์ ที่พบในน้ำ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

Abstract

Screening and biodiversity of blue-green algae and photosynthetic bacteria in 9 hot spring areas of the upper part of northern Thailand was investigated between October 1999 to September 2000. Samples were taken from San Kampaeng in Mae Orn sub-district, Pong Dued in Mae Tang district, Thepanom in Mae Chaem district, Mae Fang in Fang district and Pong Nam Ron Doi Saket in Doi Saket district, Chiang Mai province; Jae Son in Muang Pan district, Lampang province; Tha Pai in Pai district, Mae Hong Son province; Pong Nam Ron Mae Jan in Mae Jan district and Huay Mak Lium in Muang district, Chiang Rai province. Algal samples were collected at the temperature ranged from 30 to 80 °C. Eight species of blue-green algae were isolated in axenic culture e.g. *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler (68°C),

Lyngbya limnetica Lemmermann (46°C), *Lyngbya perelegans* Lemmermann (43°C), *Mastigocladus laminosus* Cohn (41 and 49°C), *Phormidium* sp. (42°C), *Synechococcus bigranulatus* Skuja (62°C), *Synechococcus lividus* Copeland (50°C) and *Synechococcus* sp. (73°C). Cultivation of the eight isolated blue-green algae at 30, 45, 55 and 70 °C indicated that they were thermotolerant organisms. The photosynthetic bacteria was collected at temperature ranged from 60 to 80 °C and cultivated at 70 °C. One species, *Chloroflexus* sp. could be isolated.

Twenty-one genera and thirty-nine species of blue-green algae were found. The majority was in the Order Chroococcales comprising 18 species followed by the Order Oscillatoriales 14 species, the Order Nostocales 6 species and the Order Stigonematales 1 species. The most diversity of algae 32 species could be found in Thepanom hot spring. The dominant species in all hot springs were *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom. were found at the temperature between 55 to 57 °C and *Synechococcus bigranulatus* *Synechococcus lividus* and *Synechococcus* sp. at the temperature between 65 to 72 °C. At the temperature ranged of 40-49 °C, thirty-eight species of blue-green algae were found in the highest number followed by 30-39 °C, 50-59 °C, 60-69 °C and 70-80 °C respectively. The biodiversity of algae in every sampling site was positively correlated with the dissolved oxygen, and negatively correlated with temperature and sulfide content in the water at 99% level of significance.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	8
บทที่ 4 ผลการวิจัย	14
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	61
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก ก	71
ภาคผนวก ข	83
ภาคผนวก ค	88

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แผนที่ประเทศไทยตอนบนแสดงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษากว่า 9 แหล่ง	14
2 แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษาริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย	17
3 เปอร์เซนต์ของออร์เคอร์ต่าง ๆ ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543	31
4 เปอร์เซนต์ของสปิชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543	31
5 เปอร์เซนต์ของสปิชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่ง ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543	31
6 ก สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางสปิชีส์ที่สำรวจพบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่ง	40
6 ข ภาพวาดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางสปิชีส์ที่สำรวจพบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่ง	41
7 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง	43
8 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน	43
9 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง	44
10 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน	44
11 ความเป็นด่าง (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง	45
12 ความเป็นด่าง (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน	45
13 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง	46
14 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน	46

สารบัญภาพ

ภาพ (ต่อ)	หน้า
15 ปริมาณ sulfide (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูแล้ง	47
16 ปริมาณ sulfide (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูฝน	47
17 ปริมาณ SRP (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูแล้ง	48
18 ปริมาณ SRP (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูฝน	48
19 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูแล้ง	49
20 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูฝน	49
21 ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูแล้ง	50
22 ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ $30 - 80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูฝน	50
23 ก สำหรับสปีชีส์เขียวเกมน้ำเงินที่แยกเป็นสปีชีส์เดี่ยว หรือ axenic culture	55
23 ข ภาพวาดสำหรับสปีชีส์เขียวเกมน้ำเงินที่แยกเป็นสปีชีส์เดี่ยว หรือ axenic culture	56
24 แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกได้เป็นสปีชีส์เดี่ยว <i>Chloroflexus</i> sp	57
25 การเพาะเลี้ยงสำหรับสปีชีส์เขียวเกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่อุณหภูมิต่าง ๆ	58
26 การเพาะเลี้ยงสำหรับสปีชีส์เขียวเกมน้ำเงินในอาหารแข็ง	59
27 การวิเคราะห์ข้อมูลสปีชีส์สำหรับตามระดับช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับฤดูกาล โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบ cluster analysis	82

บทที่ 1

บทนำ

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (thermophilic blue-green algae) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูง (thermophilic photosynthetic bacteria) จะพบอยู่ทั่วไปตามบ่อน้ำร้อนและน้ำพุร้อน จัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าสูง ได้มีการนำเอนไซม์ สารปฏิชีวนะ กรดอะมิโน รงควัตถุ และอื่น ๆ มาใช้ในระดับอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และทางการแพทย์ เนื่องจากคุณสมบัติของการคงความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูง และเอนไซม์บางชนิดยังมีความสามารถในการทำงานสูงที่อุณหภูมิสูงได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเอนไซม์ที่มีจุดประสงค์ในการนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะสามารถเพาะเลี้ยงและสกัดที่อุณหภูมิสูง โดยที่เอนไซม์ไม่แปรสภาพพร้อมกับสูญเสียความสามารถในการทำงาน นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิสูงยังเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต เพราะไม่ต้องใช้ระบบความเย็นควบคุมอุณหภูมิ (cooling system) และอุณหภูมิสูงยังเป็นการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ได้อีกด้วย

บริเวณที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนอุณหภูมิสูง สามารถเจริญได้นั้นคือ น้ำพุร้อน (hot spring) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์ได้มากมาย ในต่างประเทศได้มีการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น สหรัฐอเมริกา ฟิลิปปีนส์ อิตาลี นิวซีแลนด์ เม็กซิโก ญี่ปุ่น เอชวาตอร์ ไอซ์แลนด์ และนิการากัว นอกจากนี้ยังนำไปใช้กับเครื่องบ่มแห้งผลิตผลทางการเกษตรและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกมากมาย ส่วนทางด้านชีววิทยาได้มีผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในน้ำพุร้อนทั้งชนิดจำนวน และสรีรวิทยา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาประโยชน์และโทษของจุลินทรีย์เหล่านี้

สิ่งมีชีวิตที่สามารถเจริญได้ในสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น น้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ๆ จะต้องมีคุณสมบัติทนต่ออุณหภูมิเหล่านี้ ซึ่งเรียกว่า thermophilic organisms อันประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายประเภท เช่น แบคทีเรียและสาหร่าย หลายชนิด สำหรับสาหร่าย ซึ่งเจริญได้ในที่อุณหภูมิสูงนี้ จัดเป็นประเภท thermophilic algae เป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดก่อนสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่นเดียวกับแบคทีเรีย สาหร่ายชนิดนี้คงทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากมีเมือกหุ้มและโมเลกุลของโปรตีนจับตัวกันแน่น ส่วนใหญ่สาหร่ายที่พบในน้ำพุร้อนจะเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ในต่างประเทศได้มีการนำสาหร่ายจากน้ำพุร้อนมาใช้ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยมีการศึกษาถึงชนิดของสาหร่ายที่สามารถตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากและมีประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากในสิ่งแวดล้อม พร้อมกันนั้นในกระบวนการ

เมตาบอลิซึมก็จะได้สารอินทรีย์หลายชนิดที่มีประโยชน์ นอกจากนี้ยังได้มีการนำสาหร่ายสีเขียว
แกมน้ำเงินกลุ่มนี้มาใช้ประโยชน์ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพลังงานบริสุทธิ์ได้อีกด้วย

ส่วนในประเทศไทยนั้นการศึกษาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง
ในน้ำพุร้อนทั้งในด้านความหลากหลาย การคัดแยกสายพันธุ์และการนำมาใช้ประโยชน์ ยังมีผู้ที่ทำ
การศึกษากันไม่มากนัก ทั้ง ๆ ที่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่าง
มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะคัดแยกสายพันธุ์ และสำรวจความหลากหลายของ
สาหร่ายในน้ำพุร้อนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ น้ำพุร้อนสันกำแพง ถึงอำเภอ
แม่ฮ่องสอน น้ำพุร้อนโป่งเดือด อำเภอแม่แตง น้ำพุร้อนเทพนม อำเภอแม่แจ่ม โป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด
อำเภอคอยสะเก็ด น้ำพุร้อนแม่ฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โป่งน้ำร้อนแม่จัน อำเภอแม่จัน
จังหวัดเชียงราย น้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย น้ำพุร้อน แจ้ซ้อน อำเภอ
เมืองปาน จังหวัดลำปาง และน้ำพุร้อนท่าปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งในน้ำพุร้อนแต่ละ
แหล่งจะมีอุณหภูมิและองค์ประกอบของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อชนิดและปริมาณของสาหร่าย
ในน้ำพุร้อน ผลสำเร็จจากการวิจัยนี้จะสามารถคัดแยกสายพันธุ์บริสุทธิ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากแหล่งน้ำพุร้อนที่ศึกษาเพื่อนำไปวิจัยถึงการนำไปใช้
ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ อุตสาหกรรม การแพทย์ และการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อคัดแยกสายพันธุ์บริสุทธิ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง
ที่ทนอุณหภูมิสูงในน้ำพุร้อน และเก็บไว้ในลักษณะมีชีวิต (culture collection) เพื่อนำไปศึกษาและ
ใช้ประโยชน์ในอนาคตต่อไป
2. เพื่อศึกษาความหลากหลาย การกระจาย และปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวม
ทั้งความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำพุร้อนในบริเวณภาคเหนือตอนบนของ
ประเทศไทย

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

น้ำพุร้อนเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่หินเกิดรอยเลื่อนและรอยแตกซึ่งมีขนาดใหญ่และมีการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการแผ่ความร้อนระหว่างรอยเลื่อนและรอยแตกของหินจากการพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี พบว่าน้ำพุร้อนมีต้นกำเนิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวโลกฝนบริเวณข้างเคียงและมักจะเกิดในบริเวณที่น้ำจะต้องไหลออกมาตามธรรมชาติ ปริมาณน้ำพุร้อนที่ไหลขึ้นมาหรือถูกปล่อยออกมาตามธรรมชาติจะมากหรือน้อยต่างกันในแต่ละบริเวณ ปกติแล้วปริมาณของน้ำที่ไหลออกมาจะสม่ำเสมอไม่ขึ้นกับฤดูกาล (กรมทรัพยากรธรณี, 2529)

บริเวณน้ำพุร้อนจะมีการไหลของน้ำพุร้อนไปยังลำธาร คลอง ทำให้มีระดับความร้อนแตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำพุร้อนจึงมีการปรับตัว (adaptation) ให้สามารถอยู่ในที่มีอุณหภูมิสูง ๆ ได้ สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญได้ในน้ำพุร้อนโดยสาหร่ายแต่ละชนิดจะเจริญได้ในแต่ละระดับของอุณหภูมิที่ต่างกัน และการที่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถเจริญได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ (physical factor) ปัจจัยทางเคมี (chemical factor) และปัจจัยทางชีวภาพ (biological factor) (สระบุรี, 2523)

ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตในน้ำพุร้อน มีหลายประการ ซึ่ง Odum (1971) กล่าวว่า แสงสว่าง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมการผลิต ความเข้มของแสงสว่างจะมีผลต่อผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary producer) และกล่าวว่าในน้ำพุร้อนขนาดใหญ่ที่มีอุณหภูมิคงที่เช่นน้ำพุร้อน Iceland ที่มีอุณหภูมิคงที่ในช่วงฤดูหนาวเหมาะแก่การเจริญของสาหร่าย แต่มีแสงสว่างเพียงเล็กน้อยในการสังเคราะห์ ทำให้สาหร่ายมีความหนาแน่นน้อยลง ปัจจัยที่สำคัญต่อไปคืออุณหภูมิ น้ำพุร้อนที่มีช่วงอุณหภูมิคงที่ทำให้สิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นอยู่รอดได้ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถปรับตัวให้ทนต่ออุณหภูมิและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี บางสปีชีส์สามารถตรึงไนโตรเจนได้ เช่น *Mastigocladus laminosus* ซึ่งจัดเป็นพวก polythermal organism (Odum, 1971) เมื่อวัดการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ปริมาณคลอโรฟิลล์ โปรตีน และ RNA เป็นเครื่องบ่งชี้โดยกำหนดให้สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ คงที่ พบว่าอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมการเจริญของสาหร่ายในน้ำพุร้อน และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ (optimum temperature) คือ 54 °C (Brock, 1966) นอกจากนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ยังมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดย Odum (1971) กล่าวถึงความเป็นกรด-ด่างว่า ในน้ำพุร้อนจะถูกจำกัดด้วยค่าความเป็นกรดแก่หรือด่างแก่ ซึ่งในน้ำพุร้อนที่มีสภาพเป็นกรดแก่จะมีการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกรดกำมะถัน น้ำพุร้อนที่มีสภาพเป็นกรดแก่จะจำกัดการกระจายของ

สิ่งมีชีวิต Fogg (1973) Lynch and Poole (1979) ได้กล่าวไว้ว่าสาหร่ายที่สามารถมีชีวิตอยู่ในน้ำพุร้อนที่มีสภาพเป็นกรดแก่ ได้แก่ *Cyanidium caldarium* น้ำพุร้อนที่มีสภาพเป็นด่างซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง 51 – 56 °C จะพบ *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium laminosum* และ *Synechococcus* sp. เป็นจำนวนมาก

สำหรับปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตในน้ำพุร้อนนั้น Lynch and Poole (1979) กล่าวว่าปัจจัยทางเคมี ได้แก่ การละลายของออกซิเจนในน้ำ ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดลง ซึ่งมีผลต่อชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตในน้ำพุร้อน นอกจากนั้น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ยังมีผลต่อการกระจายของจุลินทรีย์ ในน้ำพุร้อนส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำจึงเป็นปัจจัยจำกัดที่กำหนดชนิดของจุลินทรีย์แต่มีผลต่อสาหร่ายน้อย

ปัจจัยทางชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตในน้ำพุร้อน ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่ง Odum (1971) กล่าวว่า ในน้ำพุร้อนขนาดใหญ่จะมีความสมดุลของมวลทางชีวภาพเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการแทนที่ของสิ่งมีชีวิตอยู่เสมอ จึงทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่ในสภาวะคงตัว นอกจากนั้น การถ่ายทอดพลังงาน ในน้ำพุร้อนก็เช่นเดียวกับระบบนิเวศทั่วไปโดยผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่จะเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ในด้านลักษณะของน้ำพุร้อนนั้น Fogg *et al.* (1973) ได้แบ่งน้ำพุร้อนตามสภาพความเป็นกรด-ด่างและมวลชีวภาพของสาหร่ายออกเป็น 3 ประเภทดังนี้คือ ประเภทแรก Alkaline springs มี pH ประมาณ 9 มวลชีวภาพของสาหร่ายมีมากที่สุด ประเภทที่สอง Calcium carbonate springs มี calcium carbonate ทับถมเป็นชั้น ๆ มวลชีวภาพของสาหร่ายมีน้อยกว่าแบบที่ 1 และประเภทสุดท้าย Acid springs มี pH ตั้งแต่ 2.1 – 6.0 ไม่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แต่มีสาหร่ายเซลล์เดียว เช่น *Cyanidium* sp. เป็นจำนวนมาก ส่วน Ramingwong *et al.* (1978) แบ่งน้ำพุร้อนตามลักษณะที่ปรากฏได้ 3 ชนิดดังนี้คือ ชนิดแรก Seep springs มีลักษณะเป็นอ่างน้ำเล็ก ๆ มีน้ำขังหรือเป็นร่องเล็ก ๆ ที่มีน้ำไหล ชนิดที่สอง Pool springs มีลักษณะเป็นบ่อหรือแอ่ง ซึ่งอาจเป็นบ่อที่มีน้ำใสหรือมีโคลนผสมอยู่ และชนิดสุดท้าย Geyser มีลักษณะเป็นบ่อหรือแอ่ง มีน้ำพุพุ่งขึ้นมาจากบริเวณเหนือผิวดิน

น้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแบบ alkaline springs และ แบบ pool springs อุณหภูมิตั้งแต่ 45 – 100 °C (สระบุรี, 2523)

กล่าวสำหรับความสามารถในการเจริญของจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงนั้น Campbell and Pace (1968) ได้กล่าวไว้ว่าจุลินทรีย์พวก thermophile สามารถมีชีวิตอยู่รอดและเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากมีคุณสมบัติดังนี้คือ คุณสมบัติแรก เอนไซม์และโครงสร้างที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนสูง ซึ่งเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

คือ กลุ่มแรก กลุ่มเอนไซม์ที่ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 55 – 60 °C เช่น malic dehydrogenase, adenosine triphosphalase, inorganic pyrophosphatase, aldolase และ peptidase กลุ่มที่สอง กลุ่มเอนไซม์ที่จะทำงานเมื่อมีสารเริ่มต้นในปฏิกิริยาเท่านั้น เช่น asparagine deaminase, catalase, pyruvic acid oxidase และ isocitratelase และกลุ่มสุดท้าย กลุ่มเอนไซม์และโปรตีนที่ต้านทานต่อความร้อนสูง เช่น α - amylase, protease, glyceraldehyde – 3 – phosphate dehydrogenase และเอนไซม์ที่กระตุ้นการทำงานของกรดอะมิโน

คุณสมบัติที่สอง เชื้อหุ้มเซลล์คงตัวเมื่อความร้อนสูง เนื่องจากพวก thermophile จะมีลิพิด (lipid) ที่ละลายในกรดไขมัน (fatty acid) จำนวนมาก การที่ลิพิดละลายในกรดไขมันทำให้เชื้อหุ้มเซลล์คงตัวจึงสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง ตรงข้ามกับพวก psychrophile (สิ่งมีชีวิตที่เจริญในที่อุณหภูมิต่ำ) ที่ลิพิดไม่ละลายในกรดไขมันจึงทำงานได้เฉพาะที่อุณหภูมิต่ำและไม่คงตัวในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้จุดหลอมเหลวของลิพิดของพวก thermophile จะสูง เชื้อหุ้มเซลล์ยืดหยุ่นได้บ้างเมื่อได้รับความร้อน รูปร่างใหญ่ขึ้น และเอนไซม์สามารถทำงานได้ดีจึงยอมให้สารผ่านได้ และทนต่อ osmotic shock

คุณสมบัติที่สาม สามารถสร้างส่วนประกอบของเซลล์ขึ้นใหม่ได้อย่างรวดเร็ว เซลล์จะมีอัตราเมตาโบลิซึมสูงในสภาพที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีการขนส่ง substrate และของเสียออกเซลล์ได้อย่างรวดเร็ว และคุณสมบัติสุดท้าย สามารถปรับตัวทางสรีรวิทยาให้ทำงานได้ดีในอุณหภูมิสูงหรือเท่ากับสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในน้ำพุร้อนจะปรับตัวทางสรีรวิทยาให้ทำงานได้ดีในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ และมีบางชนิดที่สามารถปรับตัวให้ทำงานได้ดีมากกว่าสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ เช่น *Cyanidium caldarium*

การสำรวจความหลากหลาย การคัดเลือกสายพันธุ์และการศึกษาสายสัมพันธ์เชิงเกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำพุร้อนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

ในประเทศไทยได้มีผู้สำรวจและศึกษาสายสัมพันธ์เชิงเกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงดังนี้ ในปี 2523 สระบุรี ได้ทำการสำรวจจุลินทรีย์ในน้ำพุร้อนโป่งส่อม ตำบลอนทวย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ พบสายพันธุ์ทั้งหมด 10 สปีชีส์ ได้แก่ *Chroococcus turgidus*, *Navicula* sp., *Oscillatoria* spp. และ *Spirogyra* sp. หลายปีต่อมา กาญจนนา และคณะ (2532) ได้ทำการสำรวจและศึกษาสายสัมพันธ์เชิงเกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือ ได้แก่ น้ำพุร้อนแม่แฝด อำเภอฝาง น้ำพุร้อนโป่งส่อม อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำพุร้อนบ้านท่าไม้แดง อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พบสายพันธุ์ชนิดเด่น ได้แก่ *Calothrix* sp., *Oscillatoria terebriformis* และ

Synechococcus sp. ในปีต่อมาคือปี 2533 ประวิทย์ ได้ทำการศึกษาไมเวสวิทยาของสาหร่ายบริเวณน้ำพุร้อนบ้านโป่งส่อม อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ พบสาหร่ายทั้งหมด 98 สปีชีส์ ตัวอย่างเช่น *Myxosarcina amethystina*, *Navicula* sp., *Oscillatoria* spp. และ *Synechococcus aeruginosus* ต่อมา วิรัชชัย (2534) ศึกษาชนิดและชีววิทยาของสาหร่ายในน้ำพุร้อน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง พบสาหร่ายทั้งหมด 14 สปีชีส์ ได้แก่ *Myxosarcina amethystina*, *Phormidium* spp., *Oscillatoria* spp. และ *Synechococcus elongatus* นอกจากนี้ยังได้ทำการแยกตัวอย่างสาหร่ายให้เป็นชนิดเดี่ยว ๆ ซึ่งสามารถแยกได้ทั้งหมด 5 สปีชีส์ ได้แก่ *Chroococcus* sp., *Phormidium ambiguum* และ *Synechococcus elongatus* จากนั้นในปี 2535 กาญจนา และ สุทธิรักษ์ ได้ทำการสำรวจชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อน้ำร้อนหินดาด อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 40 °C พบ *Oscillatoria* spp. เป็นชนิดเด่น และปี 2540 วัชรชัย ได้ทำการแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สามารถแยกได้ 9 ตัวอย่าง พบว่าเป็นพวก purple non-sulfur photosynthetic bacteria ซึ่งเชื้อทั้งหมดคือ *Rhodospseudomonas* sp.

ในต่างประเทศนั้นได้มีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 1973 Castenholz ทำการศึกษาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อน Hunter รัฐโอริกอน น้ำพุร้อน Yellowstone National Park ประเทศสหรัฐอเมริกา และน้ำพุร้อนในประเทศไอซ์แลนด์และนิวซีแลนด์ พบ *Synechococcus lividus* ที่อุณหภูมิ 73–74 °C *Oscillatoria terebriformis* ที่อุณหภูมิ 35–38 °C และ *Mastigocladus laminosus* ที่อุณหภูมิ 63–64 °C ต่อมา Brock (1975) ได้ทำการศึกษาจำนวนและชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ คือ 30–75 °C พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 30–35 °C มีจำนวนและชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุดถึง 90 สปีชีส์ และช่วงอุณหภูมิ 65–70 °C และ 70–75 °C มีจำนวนและชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินน้อยที่สุดคือ 1 สปีชีส์ ในปีเดียวกันนี้ Round (1975) ได้ทำการสำรวจสาหร่ายในน้ำพุร้อน On Sunda ประเทศอินโดนีเซีย พบชนิดสาหร่ายแตกต่างกันตามช่วงระดับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 45–55 °C พบสาหร่าย *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium laminosum*, *Pleurocapsa fluviatilis*, *Plectonema notatum* v. *africanum*, *Scytonema coactile* v. *thermale* ที่อุณหภูมิ 55–60 °C พบสาหร่าย *Synechococcus elongatus* f. *thermalis*, *Synechosystis aquatilis*, *Phormidium laminosum*, *Onconema thermale*, *O. compactum*, *Phormidium tenue*, *P. cebennese* f. *thermale*, *Mastigocladus laminosus* ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C พบสาหร่าย *Synechococcus elongatus* f. *thermalis*, *Synechosystis aquatilis*, *Phormidium laminosum* และในช่วงเวลาเดียวกัน Spring (1975) ทำการศึกษาระบบนิเวศของสาหร่ายในน้ำพุร้อนทางตอนใต้ของประเทศไอซ์แลนด์ พบ *Mastigocladus laminosus* ในน้ำหนึ่งที่อุณหภูมิ 55 °C และพบ *Lyngbya martensiana* และ *Phormidium corium* ในธารน้ำร้อนที่มีอัตราการไหลปานกลาง

จนถึงแรง อุณหภูมิ 31–41 °C ต่อมาในปี 1978 Brock ได้ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 30 – 35 °C มีจำนวนและชนิดของสาหร่ายมากและจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิ 70 – 75 °C จะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพียงชนิดเดียวคือ *Synechococcus* sp. ที่สามารถเจริญได้ พร้อมกันนั้นก็อ้างอิงถึง Peary and Castenholz (1964) ว่ามีการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม ต่อการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechococcus lividus* ที่เก็บมาจากอุณหภูมิต่าง ๆ ในน้ำพุร้อน Hunter รัฐโอริกอน พบว่าสามารถแบ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 สายพันธุ์ที่เก็บมาจากอุณหภูมิ 45, 48 และ 53 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 45 °C กลุ่มที่ 2 สายพันธุ์ที่เก็บมาจากอุณหภูมิ 55 และ 60 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 50 °C กลุ่มที่ 3 สายพันธุ์ที่เก็บมาจากอุณหภูมิ 66 และ 71 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 55 °C และกลุ่มสุดท้ายสายพันธุ์ที่เก็บมาจากอุณหภูมิ 75 °C อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญคือ 65 °C ต่อมา Leghari and Thebo (1983) ศึกษาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อน Laki Shah Sadar ประเทศปากีสถาน พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด 21 สปีชีส์ ได้แก่ *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp. และ *Synechococcus* spp. สามปีต่อมา Compère and Delmotte (1986) ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายในน้ำพุร้อนประเทศแซมเบีย ทวีป แอฟริกา พบไดอะตอม 120 สปีชีส์ และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายสปีชีส์ ได้แก่ *Navicula cuspidata*, *Oscillatoria* spp., *Pinnularia appendiculata* และ *Synechococcus lividus* ต่อมาในปี 1994 Hayashi *et al.* ได้ทำการแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจากน้ำพุร้อนบ้านโป่งส่อม อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถแยก *Chroococcidiopsis* sp. ได้ 3 สายพันธุ์และได้ศึกษาอุณหภูมิและ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญ พบว่า *Chroococcidiopsis* sp. สายพันธุ์ TS – 821 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 50 °C และ pH ที่เหมาะสมประมาณ 8 นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถตรึงไนโตรเจน ทนต่อไนไตรท์ ซัลไฟด์และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ได้ จากนั้น Pentecost (1995) ศึกษาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนประเทศอังกฤษ พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดเด่นคือ *Phormidium* spp. และได้ทำการศึกษาการเจริญในแต่ละอุณหภูมิ พบว่า *P. luridum* และ *P. ambigum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ตามลำดับ แต่ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิเกิน 47 °C และเมื่อไม่นานมานี้ในปี 1999 Miyake *et al.* ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (H₂) จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับ อุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

- 1.1 ขวดเก็บตัวอย่าง
- 1.2 ปากกิบ
- 1.3 ช้อน
- 1.4 มีดปลายแหลม
- 1.5 ถังพลาสติก
- 1.6 ขางรัด
- 1.7 เทอร์โมมิเตอร์
- 1.8 ปากกาและกระดาษเลเบล
- 1.9 pipette ขนาด 10 มล.
- 1.10 ลูกยาง
- 1.11 pH meter ชุด electrode kit หรือ กระดาษวัด pH
- 1.12 แปร่งสี่ฟัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการ

- 1.1 กระป๋องพลาสติก
- 1.2 ขวด BOD (biochemical oxygen demand)
- 1.3 เทอร์โมมิเตอร์
- 1.4 conductivity meter ชุด electrode kit
- 1.5 pH meter ชุด electrode kit
- 1.6 turbidimeter
- 1.7 spectrophotometer รุ่น DR 2000

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวินิจฉัยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ในห้องปฏิบัติการ

- 3.1 กล้องจุลทรรศน์ชนิด compound microscope
- 3.2 กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบพร้อมกล้องถ่ายรูปและฟิล์มถ่ายรูป
- 3.3 หนังสือและเอกสารที่ใช้ในการวินิจฉัยสาหร่ายและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการคัดแยกและเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 ตู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายปรับอุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 °C
- 1.2 อาหารเลี้ยงสาหร่ายทั้งอาหารแข็งและเหลว
- 1.3 ฟลาสก์ขนาด 250 มล.
- 1.4 petri dish
- 1.5 หลอดทดลอง
- 1.6 หลอดทดลองฝาเกลียว
- 1.7 ขวด universal
- 1.8 ห่วงถ่ายเชื้อ
- 1.9 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 1.10 เครื่องซังสาร
- 1.11 เครื่อง centrifuge
- 1.12 slide และ cover slip

การดำเนินงานวิจัย

1. การสำรวจแหล่งน้ำพุร้อน

ทำการสำรวจแหล่งน้ำพุร้อนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่มีสภาพแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติและมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันชัดเจนในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ในน้ำพุร้อนแต่ละแห่ง จะทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยแบ่งตามอุณหภูมิและสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ จุดเก็บตัวอย่าง กำหนดแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษาได้ดังนี้

แหล่งที่ 1 น้ำพุร้อนสันกำแพง กิ่งอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่

แหล่งที่ 2 น้ำพุร้อนโป่งเดือด อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

แหล่งที่ 3 น้ำพุร้อนเทพนม อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่

แหล่งที่ 4 โป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

แหล่งที่ 5 น้ำพุร้อนแม่ฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

แหล่งที่ 6 โป่งน้ำร้อนแม่จัน อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

แหล่งที่ 7 น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง

แหล่งที่ 8 น้ำพุร้อนท่าปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

แหล่งที่ 9 น้ำพุร้อนห้วยหมากเหลี่ยม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

เก็บตัวอย่างในแต่ละจุดตามระดับของอุณหภูมิดังนี้

ระดับที่ 1	30-39 °C
ระดับที่ 2	40-49 °C
ระดับที่ 3	50-59 °C
ระดับที่ 4	60-69 °C
ระดับที่ 5	70-80 °C

2. การศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการ

2.1 ศึกษาลักษณะของแหล่งน้ำและท้องน้ำ

2.2 วัดอุณหภูมิอากาศและน้ำ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

2.3 วัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) โดยใช้เครื่อง conductivity meter ชุด electrode kit

2.4 วัดค่า pH ของน้ำ โดยใช้ pH meter ชุด electrode kit หรือ กระดาษวัด pH

2.5 วัดค่าความขุ่นโดยใช้ turbidimeter

2.6 หาค่าความเป็นกรด – ด่าง (alkalinity) โดยใช้วิธี phenolphthalein methyl orange indicator

(APHA, AWWA and WPCF, 1992)

2.7 หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธีการไตเตรทโดยใช้ azide modification method

(APHA, AWWA and WPCF, 1992)

2.8 หาปริมาณสารอาหารไนเตรท ไนโตรเจน, แอมโมเนียม ไนโตรเจน และ soluble reactive phosphorus (SRP) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้เครื่อง spectrophotometer รุ่น DR 2000

3. การเก็บตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อน

3.1 สาหร่ายประเภทอีดีเกาะ (periphytic algae)

1. สาหร่ายพวกที่เกาะอยู่บนหิน กิ่งไม้ เปลือกไม้ การเก็บจะใช้มีดขูดหรือปัดด้วยแปรงให้ตัวอย่างไหลลงสู่ขวดเก็บตัวอย่าง

2. สาหร่ายพวกที่อยู่บริเวณผิวน้ำหรือท้องน้ำ บริเวณผิวน้ำจะเก็บโดยใช้ปากคีบคีบหรือช้อนตักใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ส่วนสาหร่ายที่อยู่บริเวณท้องน้ำบางชนิดที่ไม่สามารถใช้ปากคีบเก็บได้จะใช้ pipette ดูดใส่ขวดเก็บตัวอย่าง

3. สาหร่ายพวกที่เป็นเส้นสาย จะเก็บโดยใช้ปากคีบคีบใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ส่วนบางชนิดที่เกาะอยู่กับ substrate ต่าง ๆ จะเก็บทั้งหมดใส่ถุงพลาสติก

สาหร่ายที่เก็บมาได้จะแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่จะนำไปศึกษาความหลากหลายจะเก็บรักษาโดยการเติม formalin 2 % ลงไป ส่วนที่นำไปคัดแยกสายพันธุ์และเพาะเลี้ยงจะเก็บเป็นตัวอย่างสดและจะนำไปศึกษาต่อทันทีในห้องปฏิบัติการ

4. การวินิจฉัยชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

4.1 ถ่ายรูปสาหร่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด compound microscope

4.2 วินิจฉัยชนิดของสาหร่ายโดยการจำแนกเป็นหมวดหมู่ในระดับจีนัส (genus) และ สปีชีส์ (sepecies) จากหนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น Huber-Pestalozzi (1938), Desikachary (1959), Anagnostidis and Komárek (1985; 1988; 1990), Anagnostidis *et al.* (1988), Hoffmann (1988), Kováčik (1988), และ Komárek and Anagnostidis (1989; 1999)

5. การเตรียมอาหารและการคัดแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงให้บริสุทธิ์

5.1 การเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงให้บริสุทธิ์

5.1.1 การเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ใช้อาหารสูตร BG-11 medium (Stanier *et al.*, 1971) (ภาคผนวก ค) เตรียมทั้งแบบอาหารเหลว และอาหารแข็ง อาหารเหลวจะเตรียมในฟลาสก์ขนาด 250 มล. ปริมาตรอาหาร 150 มล. และอาหารแข็งจะเตรียมใส่จานเพาะเชื้อ (petri dish) และขวด universal

5.1.2 การเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ใช้อาหารสูตร PE medium (Hanada *et al.*, 1995) (ภาคผนวก ค) เตรียมแบบอาหารเหลว

5.2 การคัดแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงให้บริสุทธิ์

5.2.1 การคัดแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

1. นำตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บจากช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ มาล้างด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในอาหารเหลว BG-11 ที่เตรียมไว้แล้ว

2. นำไปบ่มที่ตู้เพาะเลี้ยงปรับอุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 °C (ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายที่เก็บมาจากแต่ละช่วงอุณหภูมิ) เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์จนสังเกตเห็นว่ามีสาหร่ายเจริญ

3. นำสาหร่ายจากข้อ 2 มาทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวชนิดเดียวกันที่สภาวะเดิม ทำซ้ำประมาณ 5 ครั้ง

4. ทำการแยกให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี streak plate หรือ spread plate (ยูวดีและฉมาภรณ์, 2538) สังเกตการเจริญเติบโตและเลือกโคโลนีที่อยู่เดี่ยว ๆ เพื่อทำการแยกด้วยวิธีเดิมหลาย ๆ ครั้งจนกว่าจะได้สาหร่ายที่เป็นชนิดเดียว ๆ (axenic culture)

5.2.2 การคัดแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

1. เก็บตัวอย่างแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากอุณหภูมิ 60–80 °C มาเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที
2. เทส่วนใส (supernatant) ทั้ง เก็บส่วนตะกอน (precipitate) เติมห่วงอาหารเหลว PE medium ปริมาตร 1 มล.
3. แบ่งตะกอนที่เติมห่วงอาหารเหลวในข้อ 2 ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวหลอดละ 0.5 มล. ใส่หลอดทดลองฝาเกลียว เติมห่วงอาหาร PE medium จนเต็มหลอดทดลอง เพื่อให้ให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน
4. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 70 °C จนสังเกตเห็นว่ามีการเจริญ โดยการสังเกตเห็นว่าอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงมีสีเหลืองส้ม
5. จากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวชนิดเดียวกัน ที่สภาวะเดิม ทำซ้ำ 4-5 ครั้ง
6. นำหลอดที่มีเชื้อเจริญมาเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที
7. ทำการแยกให้บริสุทธิ์ของวิธี agar shake dilution method

6. การวินิจฉัยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

1. ศึกษารูปร่างของเซลล์ การติดสีกรัม
2. ศึกษาชนิดของ bacteriochlorophyll โดยวิธี Scanning ด้วยเครื่อง Spectrophotometer
3. วินิจฉัยชนิดของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงโดยการจำแนกในระดับแฟมิลี (family) และ จินัส (genus) จากหนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Starr *et al.* (1981), Staley *et al.* (1989) และ Holt *et al.* (1994)

7. การศึกษาความทนอุณหภูมิในช่วงกว้างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ทำการศึกษาโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกได้เป็นชนิดเดี่ยว ๆ ในตู้ปรับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 °C บันทึกผลการเจริญของสาหร่ายในแต่ละอุณหภูมิ

8. การเก็บรวบรวมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ทำการเก็บรวบรวมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกได้จนเป็นชนิดเดี่ยว ๆ ไว้ในขวดอาหารเอียง (agar slant) ในลักษณะมีชีวิต (culture collection) ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเก็บในหลอดทดลองอาหารแข็ง ในลักษณะมีชีวิตเช่นกัน

9. สถานที่ทำการวิจัย

9.1 หน่วยวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายและแพลงก์ตอน ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

9.2 แหล่งน้ำพุร้อนที่ทั้ง 9 แหล่งในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

10. ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างและศึกษาคุณภาพน้ำในน้ำพุร้อนแต่ละแหล่ง 2 จุด คือ จุดเลี้ยงและจุดฝน โดยในแต่ละจุดจะเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง ทำการศึกษาตั้งแต่เดือนตุลาคม 2542 ถึงเดือนกันยายน 2543

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 4

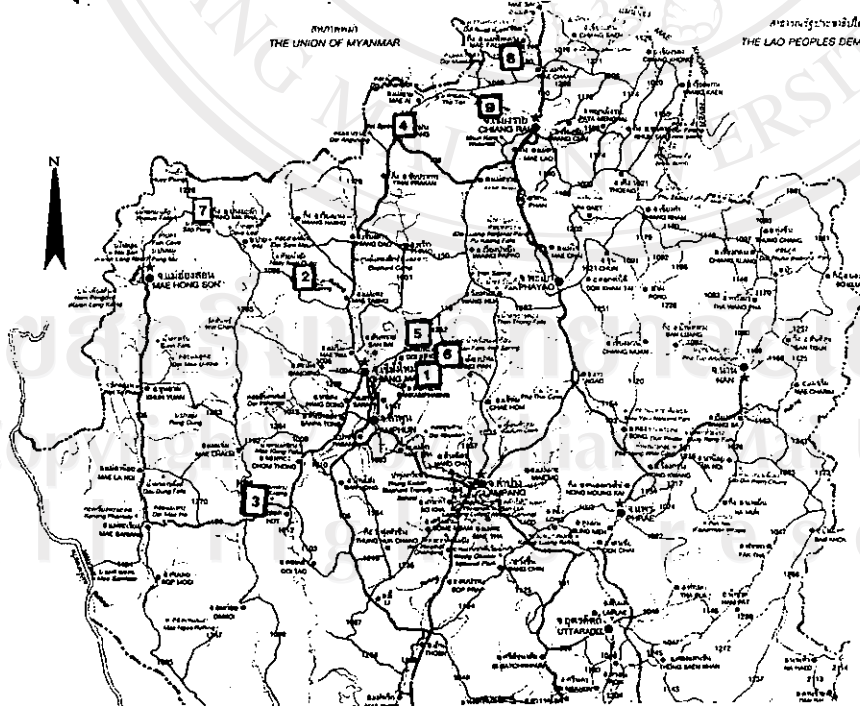
ผลการวิจัย

จากการคัดเลือกสายพันธุ์และความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ทนความร้อนในน้ำพุร้อนบางแห่งบริเวณภาคเหนือตอนบนได้แก่น้ำพุร้อนสันกำแพง กิ่งอำเภอแม่ออน น้ำพุร้อนโป่งเดือด อำเภอแม่แตง น้ำพุร้อนเทพนม อำเภอแม่แจ่ม น้ำพุร้อนแม่ฝาง อำเภอฝาง และโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด อำเภอคอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง น้ำพุร้อนท่าปาย อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โป่งน้ำร้อนแม่จัน อำเภอแม่จัน และน้ำพุร้อนห้วยหมากเลี่ยม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึง กันยายน 2543 ศึกษาสาหร่ายและแบคทีเรียรวมทั้งเก็บตัวอย่างในน้ำพุร้อนแต่ละแห่ง 2 ครั้ง ในฤดูแล้งและฤดูฝนยกเว้นน้ำพุร้อนแม่ฝางและน้ำพุร้อนห้วยหมากเลี่ยมที่เก็บเฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น ได้ผลการศึกษาดังจะแยกรายละเอียดเป็นส่วน ๆ ดังนี้

สภาพแวดล้อมของแต่ละแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษา

แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษา

น้ำพุร้อนที่ทำการศึกษابرเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 แผนที่ประเทศไทยตอนบนแสดงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษาทั้ง 9 แห่ง

1. **น้ำพุร้อนสันกำแพง** กิ่งอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ (ภาพ 2ก) เป็นแหล่งน้ำพุร้อนขนาดใหญ่ซึ่งก่อนที่จะมีการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว มีบ่อน้ำพุร้อนจำนวนมาก แต่ปัจจุบันมีการปรับปรุงสร้างเป็นบ่อซีเมนต์และขุดลอกธารน้ำอยู่เสมอเพื่อให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สวยงาม ทำให้ความหลากหลายของสาหร่ายลดลงเนื่องจากพื้นที่ถูกรบกวนจากมนุษย์เพิ่มขึ้น สภาพทั่วไปของน้ำพุร้อนโดยทั่วไปพบว่าในบ่อน้ำมีสีใส ส่วนธารน้ำร้อนมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินปกคลุมอยู่ทั่วไป ยกเว้นบ่อที่มีน้ำพุ่งขึ้นมาเป็นระยะๆ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ บริเวณท้องพื้นน้ำมีกลิ่นกำมะถันมาก แต่บริเวณธารน้ำร้อนพบว่ามีกลิ่นกำมะถันน้อยลง ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะเห็นเป็นเมือกสีเขียว ส้ม หรือน้ำตาล เจริญเติบโตบน substrate ซึ่งจะเป็นดินหรือซีเมนต์ โดยมีน้ำพุร้อนไหลปกคลุมโคโลนีของแบคทีเรียชนิดนี้บ้าง ๆ

2. **น้ำพุร้อนโป่งเดือด** อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ (ภาพ 2ค) เป็นแหล่งน้ำพุร้อนขนาดใหญ่ที่ยังมีลักษณะเป็นธรรมชาติอยู่มาก ไม่มีการรบกวนของมนุษย์มากนักถึงแม้จะพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวก็ตาม จะมีลักษณะเป็นบ่อน้ำพุพุ่งขึ้นมาตลอดเวลา น้ำมีอุณหภูมิสูง มีการปกคลุมของดินไม้โดยรอบมีก้อนหินขนาดต่าง ๆ เรียงรายอยู่ในแหล่งน้ำ จำนวนบ่อน้ำพุร้อนมีปริมาณมาก มีกลิ่นกำมะถันมาก พื้นท้องน้ำมีลักษณะเป็นพื้นกรวดทราย ซึ่งไม่มีสาหร่ายเจริญ บริเวณที่สายน้ำไหลลงตามลำธารจากตอนต้นของแหล่งน้ำ จะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำตกสูงอยู่เบื้องล่าง กระแสน้ำไหลแรงในช่วงหน้าฝน น้ำพุร้อนแห่งนี้ ปรากฏแบคทีเรียสังเคราะห์แสงไม่ชัดเจนนัก

3. **น้ำพุร้อนเทพนม** อยู่ในอุทยานแห่งชาติดอยหลวง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ (ภาพ 2จ) เป็นแหล่งน้ำพุร้อนธรรมชาติที่ปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวแต่ไม่ค่อยมีการรบกวนจากภายนอกมากนัก มีบ่อน้ำพุร้อนหลายแหล่งอยู่ในบริเวณห่าง ๆ กันส่วนใหญ่เป็นบ่อขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะอยู่กลางแจ้งไม่มีร่มไม้ปกคลุม และมีกลิ่นกำมะถัน ธารน้ำพุร้อนหลายสายพื้นน้ำจะเป็นกรวด ดิน และหินขนาดเล็ก พื้นท้องน้ำตื้น น้ำมีสีใส มีสาหร่ายปกคลุมอยู่ทั่วไป ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงปรากฏให้เห็นเช่นเดียวกับน้ำพุร้อนสันกำแพง

4. **น้ำพุร้อนแม่ฟ้าหลวง** อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่สำคัญซึ่งในปัจจุบันเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ น้ำผุดดินมีอุณหภูมิสูง มีกลิ่นกำมะถันมาก มีบ่อน้ำร้อนหลายบ่ออุณหภูมิแตกต่างกัน ในหน้าฝนจะมีธารน้ำเย็นจากบ้านเรือนไหลเข้ามา ทำให้อุณหภูมิของธารน้ำลดลงเล็กน้อยและเนื่องจากพื้นที่ไม่มีการรบกวนจากมนุษย์มากนักทำให้สภาพแวดล้อมไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่กลางแจ้งไม่มีร่มไม้ปกคลุม พื้นธารน้ำจะมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย บริเวณพื้นท้องน้ำและธารน้ำจะมีสาหร่ายปรากฏอยู่ทั่วไป พบแบคทีเรียสังเคราะห์แสง เป็นเมือกสีเทาอยู่บนพื้นดิน บริเวณที่น้ำพุร้อนไหลผ่าน

5. **โป่งน้ำร้อนคอยสะเกิด** อำเภอคอยสะเกิด จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งน้ำพุร้อนขนาดเล็กมีบ่อน้ำพุร้อนเพียงเล็กน้อยอุณหภูมิไม่สูงมากนักมีกลิ่นกำมะถันเล็กน้อย น้ำมีสีใส พื้นธารน้ำเป็นกรวดหินและดิน ปัจจุบันได้เปิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวพร้อมกันนั้นมีประชาชนและชาวบ้านนำหน่อไม้มาต้มในบ่อน้ำร้อนทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม บริเวณธารน้ำร้อนจะมีสาหร่ายปรากฏอยู่ทั่วไป แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ปรากฏให้เห็นเช่นเดียวกับที่กล่าวมา สภาพแวดล้อมตั้งอยู่กลางแจ้งไม่มีร่มไม้ปกคลุม

6. **น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน** อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง (ภาพ 2ข) ตั้งอยู่ในอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อนเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญมีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก น้ำพุร้อนตั้งอยู่กลางแจ้งรอบ ๆ มีต้นไม้ปกคลุม สภาพแหล่งน้ำจะมีก้อนหินขนาดใหญ่มากมาย พื้นที่รอบน้ำมีก้อนหินขนาดต่างๆ กรวดดิน ตะกอนพื้นท้องน้ำจะมีสีเทา น้ำมีสีใสและมีกลิ่นกำมะถัน อุณหภูมิของน้ำไม่สูงมากนัก มีธารน้ำพุร้อนหลายแห่งกระแสน้ำไหลค่อนข้างเร็วและมีสาหร่ายปกคลุมอยู่ทั่วไป พบแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีส้มแดง ปรากฏอยู่บนพื้นดินบางแห่ง

7. **น้ำพุร้อนท่าปาย** อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน (ภาพ 2ง) เป็นบ่อน้ำพุร้อนขนาดใหญ่มีบ่อน้ำพุร้อนขนาดใหญ่ 2 บ่อ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-4 เมตร น้ำพุ่งขึ้นมาบนแอ่งตลอดเวลา ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน น้ำดังกล่าวไหลลงสู่ลำธารด้านล่าง กระแสน้ำไหลค่อนข้างเร็ว ปริมาณน้ำที่ไหลออกมามาก บริเวณรอบๆ ถูกปกคลุมไปด้วยต้นไม้และร่มไม้ พื้นที่รอบน้ำมีลักษณะเป็นก้อนหินและกรวดทราย มีสาหร่ายปกคลุมอยู่ทั่วไป ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสง ปรากฏให้เห็นเป็นเมือกสีเทาและมีปริมาณไม่มากนัก

8. **โป่งน้ำร้อนแม่จัน** อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย (ภาพ 2ฉ) มีบ่อน้ำพุร้อนขนาดเล็กหลาย ๆ บ่อไหลลงสู่แอ่งน้ำเย็นเบื้องล่าง ลักษณะพื้นท้องน้ำมีตะกอนสีเทาดำ อุณหภูมิสูง น้ำมีลักษณะใสไม่มีสี มีกลิ่นกำมะถันมาก ไม่ค่อยถูกรบกวนจากภายนอกมากนัก ต่อมาภายหลังได้พัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว มีการสร้างบ่อซีเมนต์ล้อมรอบบ่อน้ำพุร้อนไว้บ้าง แหล่งน้ำส่วนใหญ่ตั้งอยู่กลางแจ้งได้รับแสงเต็มที่ไม่ค่อยมีร่มไม้ปกคลุม กระแสน้ำไหลปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว พบสาหร่ายบริเวณท้องน้ำของบ่อน้ำร้อน ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงพบอยู่ประปราย

9. **น้ำพุร้อนห้วยหมากเหลี่ยม** อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีบ่อน้ำพุร้อนขนาดใหญ่เพียงบ่อเดียวตั้งอยู่กลางแจ้งไหลลงสู่แม่น้ำกก น้ำใสไม่มีสี พื้นท้องน้ำเป็นดินและกรวดขนาดเล็ก รอบ ๆ บ่อมีสาหร่ายลอยปกคลุมผิวหน้า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงพบน้อยมาก



ภาพ 2 แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการสำรวจบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

- (ก) น้ำพุร้อนสันกำแพง (ข) น้ำพุร้อนแจ้ห่ม (ค) น้ำพุร้อนโป่งเดือด (ง) น้ำพุร้อนท่าปาย
(จ) น้ำพุร้อนเทพนม (ฉ) โป่งน้ำร้อนแม่จัน

การกระจายของสาหร่ายในแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษา

จากการสำรวจสาหร่ายสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในแหล่งน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือตอนบนจำนวน 9 แหล่ง พบสาหร่ายทั้งหมด 21 genera 39 species (ตาราง 1) แบ่งออกเป็น 4 orders คือ Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales และ Stigonematales (ภาพ 3) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นกลุ่มเด่นคือสาหร่ายใน Order Chroococcales พบทั้งหมด 18 สปีชีส์ คิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สาหร่ายใน Order Oscillatoriales พบทั้งหมด 14 สปีชีส์ คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายใน Order Nostocales พบ 6 สปีชีส์ คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ และ สาหร่ายใน Order Stigonematales พบเพียง 1 สปีชีส์ คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อศึกษาการกระจายของสาหร่ายตามช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-80°C โดยแบ่งเป็น 5 ระดับคือ 30-39°C, 40-49°C, 50-59°C, 60-69°C และ 70-80°C พบสาหร่ายในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ดังในตาราง 1 ภาพ 4

ในช่วงอุณหภูมิ 40-49°C มีจำนวนสปีชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุดคือ 38 สปีชีส์ คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือช่วง 30-39 °C พบ 36 สปีชีส์ คิดเป็น 34 เปอร์เซ็นต์ ช่วง 50-59 °C พบ 23 สปีชีส์ คิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ ช่วง 60-69°C พบ 5 สปีชีส์ คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ และ ช่วง 70-80 °C พบ 3 สปีชีส์ คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่ายิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายยิ่งลดลง

น้ำพุร้อนเทพนมมีความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุดโดยพบทั้งหมด 32 สปีชีส์ รองลงมาคือน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน 30 สปีชีส์ น้ำพุร้อนโป่งเดือด 29 สปีชีส์ น้ำพุร้อนสันกำแพง 28 สปีชีส์ น้ำพุร้อนท่าปาย 26 สปีชีส์ น้ำพุร้อนแม่แฝง 25 สปีชีส์ น้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก 23 สปีชีส์ โป่งน้ำร้อนแม่จัน 20 สปีชีส์ และโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด 19 สปีชีส์ ตามลำดับ (ตาราง 2-10 และภาพ 5)

อุณหภูมิ 30-39°C พบสาหร่ายในปริมาณไม่มากนัก ปริมาณสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิ 50-59 °C โดยสาหร่ายที่พบเป็นจำนวนมากที่สุดคือ *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.)-Anagn.Et Kom. และปริมาณสาหร่ายจะเริ่มลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิ 80 °C ซึ่งพบสาหร่ายเพียงกลุ่มเดียวคือ *Synechococcus* spp. (ตาราง 1)

เมื่อนำข้อมูลจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายในแต่ละช่วงอุณหภูมิในทุกฤดู มาวิเคราะห์วิธีทางสถิติด้วยวิธี nonparametric statistic โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Kruskal Wallis Test เพื่อเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิ ในทุกฤดูของแต่ละแหล่งน้ำพุร้อน พบว่า ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ของจุดเก็บตัวอย่าง มีจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ดในฤดูแล้ง และโป่งน้ำร้อนแม่จัน ในฤดูฝน ซึ่งไม่แตกต่างกัน (ภาคผนวก ก ตาราง 21) เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Mann Whitney Test เปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนสปีชีส์ในแต่ละฤดู พบว่าทุกช่วง

อุณหภูมิในแต่ละแหล่ง จำนวนสปิชีส์ของสาหร่ายไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นที่น้ำพุร้อนเทพนม ในช่วงอุณหภูมิ 40-49°C พบว่าจำนวนสปิชีส์สาหร่ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ก ตาราง 22) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี correlation analysis ระหว่างช่วงอุณหภูมิ และฤดูกาลกับจำนวนสปิชีส์สาหร่ายพบว่ามีความสัมพันธ์กัน โดยอุณหภูมิจะส่งผลต่อจำนวนสาหร่ายในทุกฤดู อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้จำนวนสปิชีส์ลดลง (ภาคผนวก ก ตาราง 23) และเมื่อเปรียบเทียบปัจจัยทางกายภาพ และเคมีบางประการ คือ pH, Conductivity, Alkalinity, DO, Sulfide, SRP, NO_3^- , NH_3 และ Turbidity พบว่าจำนวนสาหร่ายมีความสัมพันธ์กับ DO, Sulfide, SRP, NO_3^- และ NH_3 โดยสาหร่ายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ DO และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ Sulfide, SRP, NO_3^- และ NH_3 (ภาคผนวก ก ตาราง 24)

นอกจากอุณหภูมิที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนสปิชีส์ของสาหร่ายแล้วยังพบว่า DO, Sulfide, SRP, NO_3^- , NH_4 และ Turbidity มีความสัมพันธ์กับสปิชีส์ของสาหร่าย โดย DO, SRP, NO_3^- , NH_4 จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนสปิชีส์ของสาหร่ายและ Turbidity มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนสปิชีส์ของสาหร่าย และเมื่อวิเคราะห์ด้วย วิธี cluster analysis พบว่าจำนวนสปิชีส์สาหร่ายที่พบในช่วงอุณหภูมิ 60-69°C และ 70-80°C มีความใกล้เคียงกัน และจำนวนสปิชีส์สาหร่ายที่พบในช่วงอุณหภูมิ 30-39°C มีความใกล้เคียงกับที่ 40-49°C และ 50-59°C (ภาคผนวก ก ภาพ 27)

ตาราง 1 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แห่งในเขตภาคเหนือตอนบน ของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2542 ถึง กันยายน 2543 (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>Aphanothece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	+	+	+	-	-
<i>Bacularia thermalis</i> Frémy	+	+	-	-	-
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	+	++	-	-	-
<i>Calothrix</i> sp.	+	+	-	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	+	++	++	-	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	++	++	+	-	-
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kovácik	++	++	-	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	+	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kovácik	+	++	++	-	-
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kovácik	+	+	+	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kovácik	+	++	++	-	-
<i>Gloeocapsa gelatinosa</i> Kützing	++	+	-	-	-
<i>Homoeothrix</i> sp.	+	+	-	-	-
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	++	++	+	-	-
<i>L. perelegans</i> Lemmermann	+	++	++	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	-	-
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	+	++	++	+	-
<i>Merismopedia</i> sp.	+	-	-	-	-
<i>Onkonema compactum</i> Geitler	+	+	-	-	-
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	+	+	+	-	-
<i>O. limosa</i> Ag. Ex Gomont	+	+	-	-	-
<i>O. sancta</i> (Kützing) Gomont	+	+	-	-	-
<i>O. splendida</i> Grev. Ex Gomont	+	+	+	-	-

ตาราง 1 (ต่อ)

สปีชีส์สาหร่าย	ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-
<i>O. willei</i> Gardner em. Drouet	+	++	+	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.) - Anagn. Et Kom.	+	+++	+++	-	-
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	++	-	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	+	++	++	-	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	++	++	-	-
<i>Rivularia dura</i> Roth	+	+	-	-	-
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	++	++	-	-	-
<i>S. mirabile</i> (Dillw.) Born.	++	++	-	-	-
<i>Symploca thermalis</i> (Kützinger) Gomont	+	++	+	-	-
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	-	+	++	++	+
<i>Sy. lividus</i> Copeland	-	++	++	+++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	-	+	++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	++	++	-	-

ตาราง 2 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนต้นกัมแพงในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน					
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)						ช่วงอุณหภูมิ (°C)					
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80		30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	+	++	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	+	++	++	-	-		+	++	+	-	-	
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	+	+	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	++	+	+	-	-		+	+	-	-	-	
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	+	-	-		++	++	+	-	-	
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	+	++	++	-	-		+	++	+	-	-	
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	++	+	-		+	++	++	+	-	
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-		++	++	+	-	-	
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	+	+	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	++	-	-		+	++	++	-	-	
<i>Gloeocapsa gelatinosa</i> Kützing	++	++	-	+	-		-	++	-	+	-	
<i>Lyngbya perelegans</i> Lemmermann	++	++	++	+	-		++	++	++	+	-	
<i>Lyngbya</i> sp.	+	+	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	+	+	+	-	-		+	+	-	-	-	
<i>Onkonema compactum</i> Geitler	+	+	+	-	-		+	+	-	-	-	
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	-	+	+	-	-		-	+	+	-	-	
<i>O. splendida</i> Grev. Ex Gomont	-	-	-	-	-		-	+	+	-	-	
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-		+	++	+	-	-	
<i>O. williei</i> Gardner em. Drouet	+	++	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	++	+++	-	-		+	++	+++	-	-	
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	+	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-	-		++	++	++	-	-	
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	++	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Synplocia thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	++	+	-	-		+	+	+	-	-	
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	+	++	++	+	-		+	++	++	+	-	
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	++	+		+	++	++	++	+	
<i>Synechococcus</i> sp.	+	++	+++	+++	+++		+	++	+++	+++	+++	
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	++	++	+	-	-		++	++	+	-	-	

ตาราง 3 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อน ไปงเตือคในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง					ฤดูฝน				
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)					ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>Aphanathece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	+	++	+	-	-	+	++	++	-	-
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	++	++	++	-	-	++	++	++	-	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützinger) Nägeli	+	++	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	++	++	+	+	++	++	++	+
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	+	++	+	-	-	++	+	+	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	++	-	-	+	++	++	-	-
<i>Gloeocapsa gelatinosa</i> Kützinger	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>L. perelegans</i> Lemmermann	++	++	++	-	-	++	++	+	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+	-	++	++	++	+	-
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	+	+	+	-	-	+	++	+	-	-
<i>Merismopedia</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Onkonema compactum</i> Geitler	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-
<i>Oscillatoria splendida</i> Grev. Ex Gomont	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-	+	++	+	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	+++	+++	-	-	+	+++	+++	-	-
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	++	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-	-	++	++	++	-	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	+	+	-	-	+	++	+	-	-
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	+	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>Symphoca thermalis</i> (Kützinger) Gomont	++	++	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	+	++	+	+	-	+	++	++	+	-
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	++	+	+	++	++	++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	+	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	++	-	-	-	+	++	-	-	-

ตาราง 4 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนเทพพนมในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง										ฤดูฝน				
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)										ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-39	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80					
species = +, non detectable = -															
<i>Aphanothece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	+	++	+	-	-						+	++	++	-	-
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	+	-	-						++	++	+	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	++	++	-	-	-						++	++	-	-	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	+	+	+	-	-						+	+	+	-	-
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-						++	++	-	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	+	-	-						++	++	+	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	++	++	-	-	-						++	++	-	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	++	+	-						+	++	++	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-						++	++	-	-	-
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	+	+	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	++	++	+	-	-						++	++	+	-	-
<i>Gloeocapsa gelatinosa</i> Kützing	+	+	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	++	++	-	-	-						++	++	+	-	-
<i>L. perelegans</i> Lemmermann	-	-	-	-	-						+	++	++	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	+	-	-						++	++	+	-	-
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	-	+	+	+	-						-	+	+	+	-
<i>Merismopedia</i> sp.	-	-	-	-	-						+	-	-	-	-
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	-	-	-	-	-						-	+	+	-	-
<i>O. limosa</i> Ag. Ex Gomont	+	+	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>O. sancta</i> (Kützing) Gomont	-	-	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>O. terebriformis</i> Ag.	-	++	+	-	-						-	++	++	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	+++	+++	-	-						+	+++	+++	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	+	+	-	-						+	+	++	-	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	++	++	-	-						+	+	+	-	-
<i>Rivularia dura</i> Roth	-	-	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	+++	+++	-	-	-						+++	+	-	-	-
<i>S. mirabile</i> (Dillw.) Born.	++	+	-	-	-						+	+	-	-	-
<i>Symploca thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	+	-	-	-						+	++	++	+	-
<i>Synechococcus bigramulatus</i> Skuja	+	++	++	+	-						+	++	++	+	+
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	++	+						+	++	++	++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	-	++	+++	+++	+++						-	++	+++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	+	-	-	-						+	+	-	-	-

ตาราง 5 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสำหรับศึกษาความถี่ในการพบในน้ำพุร้อนแบบต่างในฤดูฝน (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	+	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	++	++	++	-	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	++	+	+	-	-
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	+	+	-	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	++	++	+	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	++	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	+	+	+	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	+	-	-
<i>L. perelegans</i> Lemmermann	++	++	+	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+	-
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	+	++	++	-	-
<i>Oscillatoria splendida</i> Grev. Ex Gomont	-	+	+	-	-
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	+++	+++	-	-
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	+	+	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	+	+	-	-
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	++	++	-	-	-
<i>Symploca thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	+	+	-	-
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	+	++	++	+	-
<i>Sy. lividus</i> Copeland	++	++	++	++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	-	++	++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	+	+	-	-

ตาราง 6 สปีชีส์และปริมาณสำหรับสายสปีชีส์เฉพาะน้ำจืดที่พบในโป่งน้ำร้อนคอตตะเคียนในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน					
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)						ช่วงอุณหภูมิ (°C)					
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80		
	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Bacularia thermalis</i> Frémy	++	++	-	-	-	+	++	-	-	-		
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-		
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	++	+	-	-	-	++	+	-	-	-		
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	+	++	-	-	-	++	++	-	-	-		
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	+	++	-	+	-	+	++	++	+	-		
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-		
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	+	++	+	-	-	+	++	-	-	-		
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	++	++	++	+	-	++	++	++	+	-		
<i>Lyngbya</i> sp.	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-		
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-		
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	+	++	+++	-	-	+	++	+++	-	-		
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	++	++	++	-	-	++	++	++	-	-		
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>Symploca thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	++	++	-	-	+	+	+	-	-		
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	+	++	++	+	-	+	++	++	+	-		
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	+++	+++	+	++	++	+++	+++		
<i>Synechococcus</i> sp.	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin												

ตาราง 7 สปีชีส์และปริมาณสำหรับสายสปีชีส์เฉพาะน้ำจืดที่พบในน้ำพุร้อนเจ็ทตอนในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สำหรับ	ฤดูแล้ง										ฤดูฝน				
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)										ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80					
<i>Aphanothece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-					
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-					

ตาราง 7 (ต่อ)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน					
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)						ช่วงอุณหภูมิ (°C)					
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80		
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-		
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-		
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-		
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	+	-	-	+	++	++	-	-		
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-		
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	+	-	-	++	++	+	-	-		
<i>Gloeocapsa gelatinosa</i> Kützing	+	+	-	-	-	++	+	-	-	-		
<i>Homoeothrix</i> sp.	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-		
<i>L. perelegans</i> Lemmermann	++	++	++	-	-	++	++	++	-	-		
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+	-	++	++	++	+	-		
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	+	+	+	-	-	+	++	+	-	-		
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	+	++	+	-	-	-	++	+	-	-		
<i>O. limosa</i> Ag. Ex Gomont	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>O. splendida</i> Grev. Ex Gomont	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-	+	++	++	-	-		
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom.	+	++	+++	-	-	+	++	+++	-	-		
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-		
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>Symploca thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-		
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	-	++	++	-	-	+	++	+	-	-		
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	+	-	+	++	++	+	-		
<i>Synechococcus</i> sp.	-	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++	+++		++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-		

ตาราง 8 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสำหรับสปีชีส์ที่หายากในน้ำจืดในบึงน้ำจืด (frequency species = +, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูร้อน (°C)					ฤดูฝน				
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)					ช่วงอุณหภูมิ (°C)				
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>Aphanatheca bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-
<i>Baculatia thermalis</i> Frémy	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	+	-	-	++	++	+	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	++	++	+	-	-	++	++	++	-	-
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli	+	+	-	-	-	+	++	-	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	++	-	-	+	++	++	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	+	-	-	+	++	++	-	-
<i>Homoeothrix</i> sp.	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Lyngbya majuscula</i> Harvey ex Gomont	-	++	-	-	-	-	+++	-	-	-
<i>L. perilegans</i> Lemmermann	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+	-	++	++	++	+	-
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	+	++	+	-	-	-	++	+	-	-
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-	+	++	++	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	++	+++	-	-	+	++	+++	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-	-	++	+	++	-	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	+	+	+	-	-	++	++	+	-	-
<i>Scytonema coactile</i> Mont.	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Symploca thermalis</i> (Kützing) Gomont	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Synechococcus bigramulatus</i> Skuja	+	++	+	+	-	+	++	+	+	-
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	+	-	+	++	++	+	-
<i>Synechococcus</i> sp.	+	++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-

ตาราง 9 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในโป่งน้ำร้อนแม่จัน ในฤดูฝน และฤดูแล้ง (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

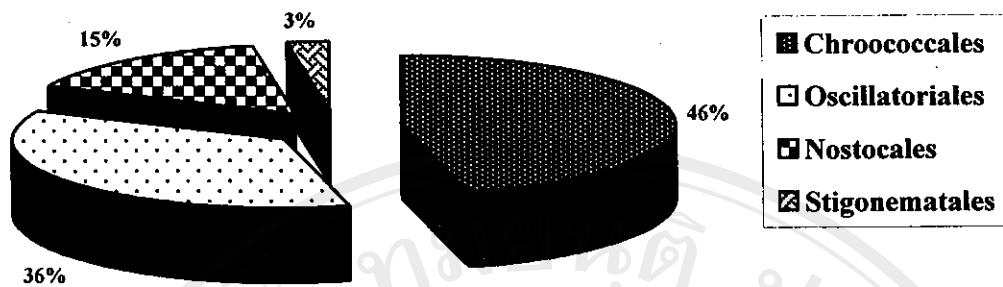
สปีชีส์สาหร่าย	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน			
	ช่วงอุณหภูมิ (°C)						ช่วงอุณหภูมิ (°C)			
	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80	30-39	40-49	50-59	60-69	70-80
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>Chroococcoidopsis thermalis</i> Geitler	++	++	++	-	-	++	++	++	-	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>C. minutus</i> (Kützing) Nägeli	++	+	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	++	++	-	-	-	++	++	-	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	+	-	-	+	++	++	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	+	-	-	-	++	+	-	-	-
<i>C. spectabilis</i> (Geitler) Kováčik	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>Homoeothrix</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+	-	++	++	++	+	-
<i>Oscillatoria chlorina</i> Kützing ex Gomont	-	+	+	-	-	-	++	+	-	-
<i>O. terebriformis</i> Ag.	+	++	++	-	-	+	+	++	-	-
<i>O. williei</i> Gardner em. Drouet	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	++	+++	-	-	+	++	+++	-	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-	-	+	++	++	-	-
<i>Synechococcus bigramulatus</i> Skuja	+	++	++	+	-	+	++	++	+	-
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	+	+	+	++	++	++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	-	++	+++	+++	+++	-	++	+++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	++	+	-	-	+	++	+	-	-

ตาราง 10 สปีชีส์และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนหัวหมากเกลือในฤดูฝน (frequency species = +++, moderate species = ++, rare species = +, non detectable = -)

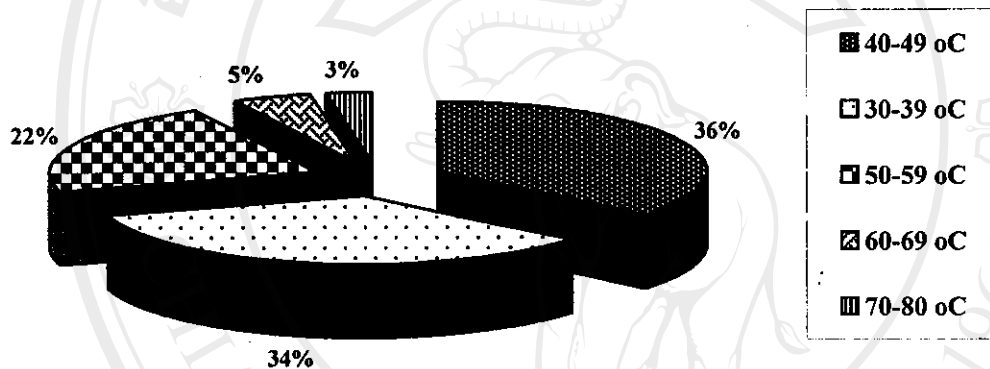
สปีชีส์สาหร่าย	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			
	30-39	40-49	50-59	60-70
<i>Aphanothece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	++	++	+	-
<i>Calothrix thermalis</i> (Schmidle) Hansg.	++	++	+	-

ตาราง 10 (ต่อ)

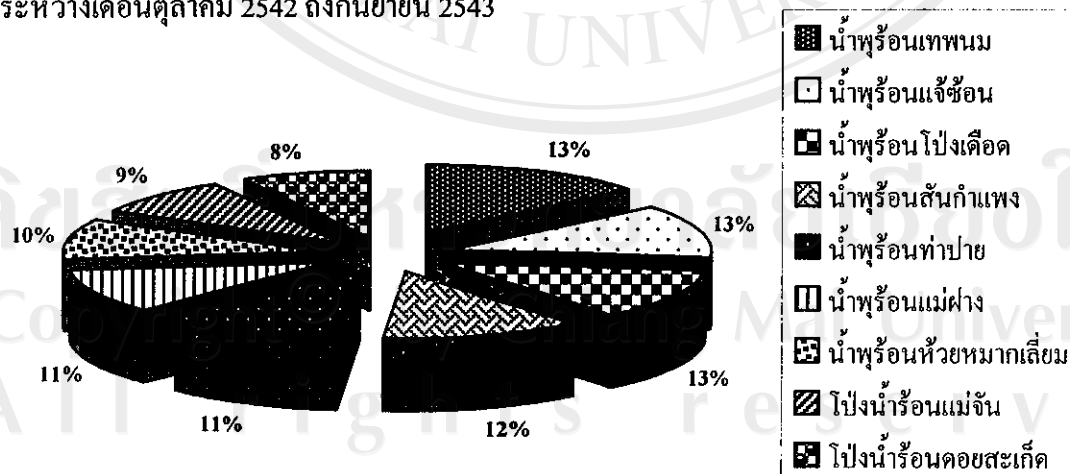
สปีชีส์สาหร่าย	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			
	30-39	40-49	50-59	60-70
<i>Calothrix</i> sp.	+	++	-	-
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	+	++	+	-
<i>Chroococcus globosus</i> (Elenkin) Hindák	+	+	-	-
<i>C. minor</i> (Kützing) Nägeli	++	+	-	-
<i>C. thermalis</i> (Meneghini) Kováčik	++	+	-	-
<i>Cyanobacterium minervae</i> (Copeland) Komarek	+	++	+	-
<i>Cyanosarcina gelatinosa</i> (Emoto et Yoneda) Kováčik	++	++	-	-
<i>C. thermalis</i> (Hindák) Kováčik	+	++	+	-
<i>Homoeothrix</i> sp.	+	-	-	-
<i>Lyngbya perelegans</i> Lemmermann	++	++	+	-
<i>Lyngbya</i> sp.	++	++	++	+
<i>Oscillatoria limosa</i> Ag. Ex Gomont	+	+	-	-
<i>O. splendida</i> Grev. Ex Gomont	-	+	+	-
<i>Phormidium boryanum</i> (Bory ex Gom.)-Anagn. Et Kom	+	++	+++	-
<i>P. laminosum</i> Gomont	+	+	+	-
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb	++	++	++	-
<i>Ps. galeata</i> sensu Anagnostidis	++	++	+	-
<i>Synechococcus bigranulatus</i> Skuja	+	++	++	+
<i>Sy. lividus</i> Copeland	+	++	++	+
<i>Synechococcus</i> sp.	-	++	+++	+++
<i>Synechocystis minuscula</i> Voronichin	+	+	+	-



ภาพ 3 เปอร์เซนต์ของออร์เดอร์ต่างๆในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543



ภาพ 4 เปอร์เซนต์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543



ภาพ 5 เปอร์เซนต์ของสปีชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงกันยายน 2543

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในแหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษา

จากการพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่ง และนำมาวินิจฉัยได้ 39 สปีชีส์ (ตาราง 1) โดยมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแต่ละสปีชีส์ดังนี้

1. *Aphanothece bullosa* (Meneghini) Rabenhorst

(ภาพ 6 ก a, 6 ข a)

เซลล์มีลักษณะเป็นโคโลนี มีเมือกหุ้ม โคโลนีมีรูปร่างไม่แน่นอน กลุ่มเซลล์ มีสีเขียวอ่อนถึงสีเขียวเข้ม เซลล์มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือทรงกระบอกสั้น ๆ ปลายโค้งมน เซลล์มีขนาด $5-8 \times 3-5 \mu\text{m}$.

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่บริเวณขอบของแอ่งน้ำพุร้อน พบในลักษณะของ subaerophytic อยู่ตามพื้นดิน ก้อนหิน ท่อนไม้ และใบไม้ เป็นต้น พบที่อุณหภูมิ $35-52^{\circ}\text{C}$

2. *Bacularia thermalis* Frémy

เซลล์มีลักษณะเป็นแท่งสั้น ๆ รูปไข่ ขนาดประมาณ $5-10 \times 2-3 \mu\text{m}$. อยู่รวมกันเป็นโคโลนี โดยมีเมือกหุ้มอยู่รอบๆ

แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามขอบของธารน้ำร้อน อุณหภูมิประมาณ $40-45^{\circ}\text{C}$

3. *Calothrix thermalis* (Schmidle) Hansg.

(ภาพ 6 ก e, 6 ข e)

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสายยาว มีเฮเทอโรซิสต์อยู่บริเวณฐาน เซลล์บริเวณฐานมีความกว้างกว่าบริเวณปลายเซลล์ เซลล์บริเวณฐานมีขนาด $6-7 \times 4-5 \mu\text{m}$. เซลล์บริเวณปลายมีขนาด $1.5-2.0 \times 2-3 \mu\text{m}$. เซลล์อาจมีความยาวถึง 2 mm. เซลล์ไม่แตกแขนง รูปร่างมีสีเขียวถึงน้ำตาลเขียว

แหล่งที่อยู่อาศัย มักพบตามท่อนไม้กิ่งไม้ตามพื้นดินที่น้ำท่วมถึง น้ำกระเซ็นถึง อุณหภูมิประมาณ $35-50^{\circ}\text{C}$

4. *Calothrix* sp.

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสายยาว มีเฮเทอโรซิสต์อยู่บริเวณฐาน เซลล์มีขนาดใหญ่กว่าปลายเซลล์มาก มีขนาด $9-10 \times 5-6 \mu\text{m}$. เมือกหุ้มหนาอาจมีหลายเส้นสายอยู่ภายใน sheath เดียวกัน เส้นสายมีสีน้ำตาลเขียวหรือสีเขียวแกมน้ำเงิน

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะตามท่อนไม้ กิ่งไม้ อุณหภูมิ $35-45^{\circ}\text{C}$

5. *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler

เซลล์มีรูปร่างกลม อยู่กันเป็น colony มีเมือกใสบาง ๆ หุ้มเซลล์มีสีเขียวอ่อนหรือเขียวแกมน้ำเงิน โคโลนีมีขนาด $10-20 \mu\text{m}$ baecyte* มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $1.5-2.0 \mu\text{m}$ ภายใน 1 โคโลนีอาจจะมี baecyte 8 หรือ 16 หรือ 32 เซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะอยู่กับหินอยู่ตามพื้นดินในแหล่งน้ำพุร้อนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง (Anagnostidis and Komárek, 1999) ซึ่งส่วนใหญ่พบในประเทศเขตร้อนอุณหภูมิ 35-50°C

6. *Chroococcus globosus* (Elenkin) Hindák

โคโลนีอยู่ภายในเมือกใส ภายในโคโลนีมีเซลล์อยู่ตั้งแต่ 4 เซลล์ถึงหลาย ๆ เซลล์ เซลล์มีลักษณะกลมหรือรี ขนาดเซลล์ประมาณ $6-8 \times 5-6 \mu\text{m}$.

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ตามพื้นดิน ก้อนหิน หรือที่ชื้นและอุณหภูมิประมาณ 35-50°C

7. *Chroococcus minor* (Kützinger) Nägeli

เซลล์มีรูปร่างกลมถึงรี อยู่ในลักษณะโคโลนี มีเมือกหุ้ม โคโลนีมีรูปร่างไม่แน่นอน ภายในโคโลนีอาจจะมีจำนวนเซลล์มากหรือน้อยก็ได้ เซลล์มีขนาด $2-3 \mu\text{m}$. มีสีเขียวแกมน้ำเงิน

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่บนหิน ดิน หรือท่อนไม้ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ของธารน้ำร้อน อุณหภูมิประมาณ 35-45°C

8. *Chroococcus minutus* (Kützinger) Nägeli

เซลล์มีลักษณะกลมหรือรี มีลักษณะเป็นโคโลนีมีจำนวนเซลล์อยู่ประมาณ 2-8 เซลล์อยู่ภายในโคโลนี มีเมือกหุ้ม เซลล์มีขนาด $5-10 \mu\text{m}$. รูปร่างของโคโลนีจะมีหลายแบบ (morphotype) เซลล์จะมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวแกมน้ำเงิน

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ตามพื้นดินร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่นๆ อุณหภูมิประมาณ 35-45°C

9. *Chroococcus thermalis* (Meneghini) Kováčik

เซลล์อยู่รวมกันเป็นโคโลนี มีจำนวนประมาณ 2-8 เซลล์ โคโลนีมีเมือกหุ้มเห็นชัดเจน เซลล์มีรูปร่างกลม หรือโค้งรี เซลล์มีขนาด $8-15 \mu\text{m}$. ซึ่งไม่รวม sheath

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ในแอ่งน้ำ ตามบริเวณผิวดินที่ชุ่มน้ำ อุณหภูมิประมาณ 35-42 °C

10. *Cyanobacterium minervae* (Copeland) Komárek (ภาพ 6 ก b, 6 ข b)

เซลล์มีรูปร่างแท่งสั้น ๆ ปลายโค้งมน มักอยู่เดี่ยว ๆ หรือ คู่ บางครั้งเซลล์จะแบ่งแบบไม่สมมาตร เซลล์มีขนาด $4-10 \times 3-5 \mu\text{m}$ เซลล์มีสีเขียวเข้มจนถึงสีน้ำตาลปนเขียว

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเท่านั้น โดยทั่วไปพบในน้ำพุร้อนที่เป็นด่างที่อุณหภูมิประมาณ 30-60 °C ซึ่งพบในน้ำพุร้อนทั่วโลก (Anagnostidis and Komárek, 1999)

11. *Cyanosarcina gelatinosa* (Emoto et Yoneda) Kováčik (ภาพ 6 ก c, 6 ข c)

เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม อยู่เกาะกลุ่มกันภายในโคโลนี ภายในโคโลนีมีจำนวนเซลล์ตั้งแต่ 4-8 เซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย พบได้ในบริเวณตามท้องน้ำและบริเวณขอบฝั่ง โคลนีมักพบร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ด้วย พบได้ที่อุณหภูมิประมาณ 35-45 °C

12. *Cyanosarcina spectabilis* (Geitler) Kováčik

เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม อยู่เกาะกลุ่มกันแน่นภายในโคลนี เซลล์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 μm โคลนีมีสีเขียวแกมน้ำเงินถึงน้ำตาลแกมเขียว แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะอยู่กับหิน อยู่ตามพื้นท้องน้ำ ตามผิวดินที่น้ำกระเซ็นถึง อุณหภูมิประมาณ 34-51 °C

13. *Cyanosarcina thermalis* (Hindák) Kováčik

เซลล์อยู่รวมกันเป็นโคลนี มีขนาดเล็ก โดยทั่วไปประกอบไปด้วยเซลล์ 4 เซลล์ เกาะกลุ่มกันอยู่ (tetrad) เส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ ประมาณ 12-15 μm มีเมือกบาง ๆ หุ้มโคลนีอยู่ เซลล์มีรูปร่างลักษณะกลมรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 μm แหล่งที่อยู่อาศัย มักพบได้ในแหล่งน้ำพุร้อนทั่วไป ตามบริเวณพื้นท้องน้ำ ตะกอนดิน ที่อุณหภูมิประมาณ 37-50 °C

14. *Gloeocapsa gelatinosa* Kützting

เซลล์มีขนาดเล็ก มีรูปร่างกลม มีเมือกหุ้มหนา เซลล์มีสีเขียวแกมน้ำเงิน มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์มีขนาดประมาณ 5-7 μm แหล่งที่อยู่อาศัย เซลล์มักอยู่ตามผิวดิน ขอบของแหล่งน้ำที่มีความชื้น น้ำกระเซ็นถึงหรืออยู่ใต้น้ำตามท้องน้ำ มักพบตามแหล่งน้ำพุร้อน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 °C

15. *Homoeothrix* sp.

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย ไม่แตกแขนง ไม่สร้างเฮทเทอโรซิสต์ เซลล์บริเวณฐานมีความกว้างมากกว่า เซลล์ปกติ ขนาด 6-8 μm ขอบเซลล์ไม่โค้งเว้า มี sheath ขนาดเซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาวประมาณ 2 เท่า โดยเซลล์มีความยาวประมาณ 3-4 μm เส้นสายยาวทั้งหมดประมาณ 30-50 μm แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะอยู่บนก้อนหิน กรวด บางครั้งพบตามขอบบ่อ อุณหภูมิไม่สูงนักโดยอยู่ในช่วง 30-40 °C

16. *Lyngbya majuscula* Harvey ex Gomont

(ภาพ 6 ก i, 6 ข i)

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสายขนาดใหญ่ มีสีน้ำตาลปนเขียว อยู่รวมกันเป็นจำนวนมาก เซลล์จะยาวตรงไม่เกิดการแตกแขนง เซลล์มีความกว้าง 25-35 μm และยาวเพียง 3-4 μm มีผนังเซลล์

หนาและหยาบเมื่อเวลาสัมผัส ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้าเข้ามา ปลายเซลล์หรือปลายเส้นสาขจะโค้งมน

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะตามก้อนหิน อยู่ใต้น้ำไหล หรือเกาะขอบธารน้ำร้อน แอ่งน้ำร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 35-45 °C

17. *Lyngbya perelegans* Lemmermann

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย ขาวตรง เซลล์มีขนาดกว้าง 2-2.5 μm มี sheath หุ้มใสไม่มีสี ผนังเซลล์ไม่เกิดการโค้งเว้า บริเวณปลายเซลล์เป็นรูปรี ยาว 5-6 μm

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ร่วมกับสาหร่ายเส้นสาย หรือสาหร่ายตัวอื่น ๆ บริเวณก้อนหิน ท้องน้ำ เจริญได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 30-45 °C

18. *Lyngbya* sp.

เซลล์มีขนาดเล็กมาก เส้นสายมีความยาวมาก ความกว้างและยาวของเซลล์มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดประมาณ 1.5-2.0 μm มี sheath หุ้มบาง ๆ เห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เซลล์บริเวณปลายจะโค้งมน เซลล์มีสีเขียวจนถึงสีเขียวแกมน้ำเงิน

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะตามพื้นดิน ก้อนหิน พบได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง 35-60 °C

19. *Merismopedia* sp.

เซลล์มีขนาดประมาณ 2-2.5 μm เซลล์เรียงกันเป็นระเบียบ บาง รวมกันเป็นโคโลนี มีจำนวนเซลล์ ตั้งแต่ 4 เซลล์ขึ้นไป จนถึง 100 เซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย ล่องลอยตามกระแสน้ำ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 30-35 °C

20. *Mastigocladus laminosus* Cohn

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย เส้นสายเกิดการแตกแขนงรูปตัว V หรือเกิดการแตกแขนงอย่างแท้จริง มีเซลล์เฮเทอโรซิสต์ภายในเส้นสาย มีสีเขียวถึงเขียวแกมน้ำเงิน เซลล์มีขนาด 4-8 μm เซลล์มีรูปร่างโค้งรี เซลล์มีการคอดเว้า เฮเทอโรซิสต์มีลักษณะกลม ขนาดกว้างกว่าเซลล์ปกติเล็กน้อย

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะตามพื้นดิน เกาะหินบริเวณน้ำไหลไม่แรงมาก หรือเกาะขอบฝั่ง อุณหภูมิประมาณ 40-50 °C

21. *Onkonema compactum* Geitler

เซลล์มีลักษณะกลมหรือมีรูปร่างไม่แน่นอน อยู่รวมกันแน่นเป็นโคโลนี เซลล์มีขนาด 2-3 μm เซลล์มีเมือกบางใสหุ้ม

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่บริเวณตะกอนดิน ตามขอบฝั่ง อาจพบปะปนอยู่กับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-45 °C

22. *Oscillatoria chlorina* Kützinger ex Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสายยาว thallus ยาว เซลล์มีสีเขียว บางครั้งพบว่ามีสีเขียวเหลือง เซลล์ตรงหรือโค้งบ้างเล็กน้อย (อาจเป็นบริเวณปลายเซลล์) ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า เซลล์กว้าง 4-6 μm ยาว 4-8 μm เซลล์ไม่มี calyptra บริเวณปลายเซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย พบบริเวณธารน้ำไหล กระแสน้ำไม่ไหลแรงมาก มักพบรวมอยู่กับสาหร่ายเส้นสายชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 40-50 °C

23. *Oscillatoria limosa* Ag. Ex Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวคล้ำ เซลล์มีลักษณะยาวตรง สีเขียวเข้มหรือสีเขียวคล้ำ ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า เซลล์มีขนาดกว้าง 10-20 μm และยาวประมาณ 2-5 μm เซลล์ด้านปลายจะโค้งมน

แหล่งที่อยู่อาศัย อาศัยอยู่บริเวณน้ำนิ่ง ในแอ่งน้ำขัง หรือกระแสน้ำไหลช้าๆ อุณหภูมิที่พบประมาณ 30-45 °C

24. *Oscillatoria sancta* (Kützinger) Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวคล้ำ เซลล์มีลักษณะยาวตรง สีเขียวเข้มหรือสีเขียวคล้ำ ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า มีเมือกหุ้มบาง ๆ เซลล์มีขนาดกว้าง 10-20 μm และยาวประมาณ 3-5 μm เซลล์มีสีเขียวถึงเขียวคล้ำ

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่ตามแอ่งน้ำนิ่ง ๆ ลอยอยู่บนผิวน้ำ หรือเกาะขอบฝั่ง อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-45 °C

25. *Oscillatoria splendida* Grev. Ex Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย เซลล์ยาวตรง ขนาดเล็ก โดยมีความกว้าง 2 μm ยาว 3-5 μm ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า ในบางครั้ง เซลล์ตรงปลายจะเกิดการโค้งงอ เซลล์บริเวณปลายมีลักษณะโค้งกลม ไม่มี calyptra บริเวณปลายเซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย เกาะติดกับท้องน้ำ อาศัยร่วมกับสาหร่ายเส้นสายชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-50 °C

26. *Oscillatoria terebriformis* Ag.

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวคล้ำ เซลล์บริเวณปลายเกิดการโค้งงอ ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า เซลล์มีขนาดกว้างประมาณ 4-6 μm ยาว 3-6 μm เซลล์ ปลายเซลล์จะกลม ไม่มี calyptra บริเวณปลายเซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย อาศัยอยู่ร่วมกับ สาหร่ายเส้นสายชนิดอื่น ๆ อยู่บริเวณต่อน้ำ กระแสน้ำไหลช้า อุณหภูมิประมาณ 45-55 $^{\circ}\text{C}$

27. *Oscillatoria willei* Gardner em. Drouet

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวถึงเขียวแกมน้ำเงิน เซลล์จะโค้งงอ มีขนาดเล็ก ความกว้างประมาณ 3-4 μm ยาว 4-5 μm ผนังเซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่บนผิวดินที่ชื้นแฉะ น้ำขัง ในแอ่งน้ำนิ่ง หรือบางครั้งพบตามแหล่งน้ำที่กระแสน้ำไหลช้า อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 40-50 $^{\circ}\text{C}$

28. *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) - Anagn. Et Kom.

(ภาพ 6 ก h, 6 ข h)

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวเข้มถึงเขียวคล้ำ เซลล์มีการโค้งงอ หรือเป็นเกลียว โดยอาจจะเป็นทั้งเส้นสายหรือเซลล์บริเวณปลายเส้นสาย ปลายเซลล์จะแหลม อยู่รวมกันแน่นเป็น thallus เซลล์มีความกว้าง 7-10 μm ยาวประมาณ 3-5 μm ผนังเซลล์มีการคอดเว้าเล็กน้อย

แหล่งที่อยู่อาศัย thallus สามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำพุร้อนที่มีกระแสน้ำเร็วหรือนิ่งได้ โดยจะเกาะกับพื้นดิน หิน โดยไม่ไหลไปตามกระแสน้ำได้ พบมาที่อุณหภูมิ 50-60 $^{\circ}\text{C}$

29. *Phormidium laminosum* Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย thallus มีสีเขียวถึงเขียวแกมน้ำเงิน เส้นสายมีลักษณะเหยียดตรง มี sheath หุ้มบาง ๆ เซลล์ไม่เกิดการคอดเว้า เซลล์มีขนาดกว้าง 1-1.5 μm ยาว 3-4 μm ปลายเซลล์จะโค้งมนหรือบางครั้งเซลล์จะแหลม ไม่มี calyptra บริเวณปลายเซลล์

แหล่งที่อยู่อาศัย อยู่บนพื้นดินเกาะกับหิน ดิน พบตามธารน้ำร้อน หรือเกาะขอบบ่อ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 40-50 $^{\circ}\text{C}$

30. *Pseudanabaena catenata* Lauterborn

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย ไม่แตกแขนง ผนังเซลล์เกิดการคอดเว้า เซลล์มีรูปร่างโค้งมน บริเวณปลายเซลล์ จะมี terminal aerotopes เซลล์มีความกว้าง 3-5 μm ยาว 4-5 μm เซลล์มีสีเขียวอ่อนถึงเขียวแกมน้ำเงิน

แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามพื้นท้องน้ำ บริเวณขอบบ่อ มักอยู่ร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-50 °C

31. *Pseudanabaena galeata sensu Anagnostidis*

(ภาพ 6 ก f, 6 ข ก)

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย ไม่แตกแขนง ผนังเซลล์เกิดการคอดเว้า เซลล์มีรูปร่างทรงกระบอกโค้งมน บริเวณปลายเซลล์มี terminal aerotopes เซลล์มีความกว้าง 2-3 μm ยาว 3-4 μm
แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามพื้นท้องน้ำ บริเวณขอบบ่อ น้ำกระเซ็นถึง อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-50 °C

32. *Rivularia dura* Roth

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย ปลายเซลล์มีเฮทเทอโรซิสต์ มี sheath บาง ๆ หุ้ม thallus แข็งและหนา เส้นสายจะอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น เซลล์มีความกว้าง 4-8 μm เซลล์บริเวณฐานมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ปกติเล็กน้อย เซลล์มีสีเขียวแกมน้ำเงินหรือเขียวเข้ม

แหล่งที่อยู่อาศัย พบบนพื้นดิน หิน เกาซีเมนต์ อุณหภูมิที่พบอยู่ในช่วง 35-42 °C

33. *Scytonema coactile* Mont.

(ภาพ 6 ก g, 6 ข ง)

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย มี sheath หุ้มหนา ภายในมีเซลล์เฮทเทอโรซิสต์ มีการแตกแขนงแบบไม่แท้จริง (false branching) อยู่รวมกันเป็น thallus มีสีเขียวหรือเขียวแกมน้ำเงิน มีขนาดประมาณ 12-20 μm เซลล์อาจยาวถึง 4 μm หรือมากกว่านั้น

แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามพื้นดิน หิน ที่น้ำท่วมถึง และพบในน้ำไหลช้า ขอบบ่อ อุณหภูมิประมาณ 35-45 °C

34. *Scytonema mirabile* (Dillw.) Born.

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย มี sheath หุ้มหนา ภายในมีเซลล์เฮทเทอโรซิสต์ มีการแตกแขนงแบบไม่แท้จริง (false branching) อยู่รวมกันเป็น thallus มีสีเขียวหรือเขียวแกมน้ำเงิน มีขนาดประมาณ 6-12 μm ความยาวทั้งเส้นสายอาจยาวถึง 1-1.2 cm.

แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามพื้นดิน, หิน แผ่กระจายเป็นบริเวณกว้าง อุณหภูมิประมาณ 35-45 °C

35. *Symploca thermalis* (Kützinger) Gomont

เซลล์มีลักษณะเป็นเส้นสาย อยู่รวมกันหนาแน่น ผนังเซลล์อาจมีการคอดเว้า เซลล์มีสีเขียวอ่อนถึงเขียว เซลล์มีความกว้าง 1-2 μm ยาว 2-5 μm ปลายเซลล์กลม
แหล่งที่อยู่อาศัย พบตามริมขอบบ่อ มักอยู่ร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ

36. *Synechococcus bigranulatus* Skuja

เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งสั้น ๆ ปลายมน เซลล์มีสีเขียวอ่อนจนถึงเขียวแกมน้ำเงิน เซลล์มีขนาดเล็ก ประมาณ 3-9 x 1.5-3 μm

แหล่งที่อยู่อาศัย มักจะอยู่รวมกันเป็นบริเวณกว้าง (mat) บนดิน, หิน พบมากที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C

37. *Synechococcus lividus* Copeland

เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งสั้น ๆ ปลายมน ตรงหรืออาจโค้ง เซลล์มีสีเขียวจนถึงเขียวแกมน้ำเงิน มีขนาด 5-15 x 1-3 μm
แหล่งที่อยู่อาศัย ตามพื้นดิน เกาะอยู่ตามก้อนหิน ในแอ่งน้ำ บ่อน้ำร้อน พบมากที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C

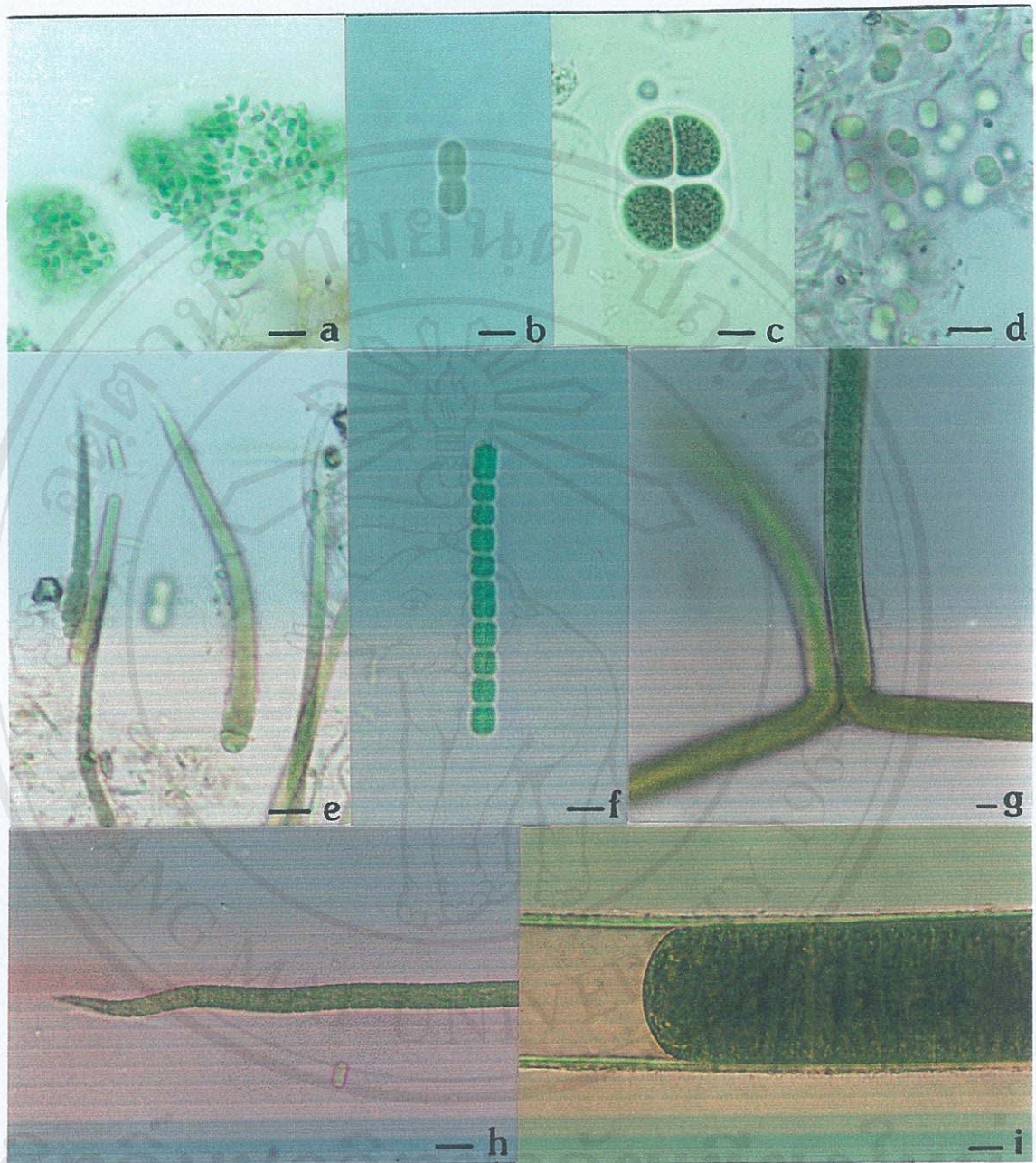
38. *Synechococcus* sp.

เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งสั้น ๆ ปลายมน คล้ายกับทรงกระบอกสั้น ๆ อาจอยู่เดี่ยว ๆ แต่โดยปกติพบอยู่เป็นคู่ ๆ (กำลังแบ่งเซลล์ แต่ยังไมแยกออกจากกัน) เซลล์มีสีเขียวคล้ำจนถึงสีน้ำตาล เซลล์มีขนาด 5-7 x 8-10 μm
แหล่งที่อยู่อาศัย เจริญเป็นบริเวณกว้างตามพื้นที่ตื้นน้ำ บ่อน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง (เจริญได้ที่อุณหภูมิ 60-75 °C)

39. *Synechocystis minuscula* Voronichin

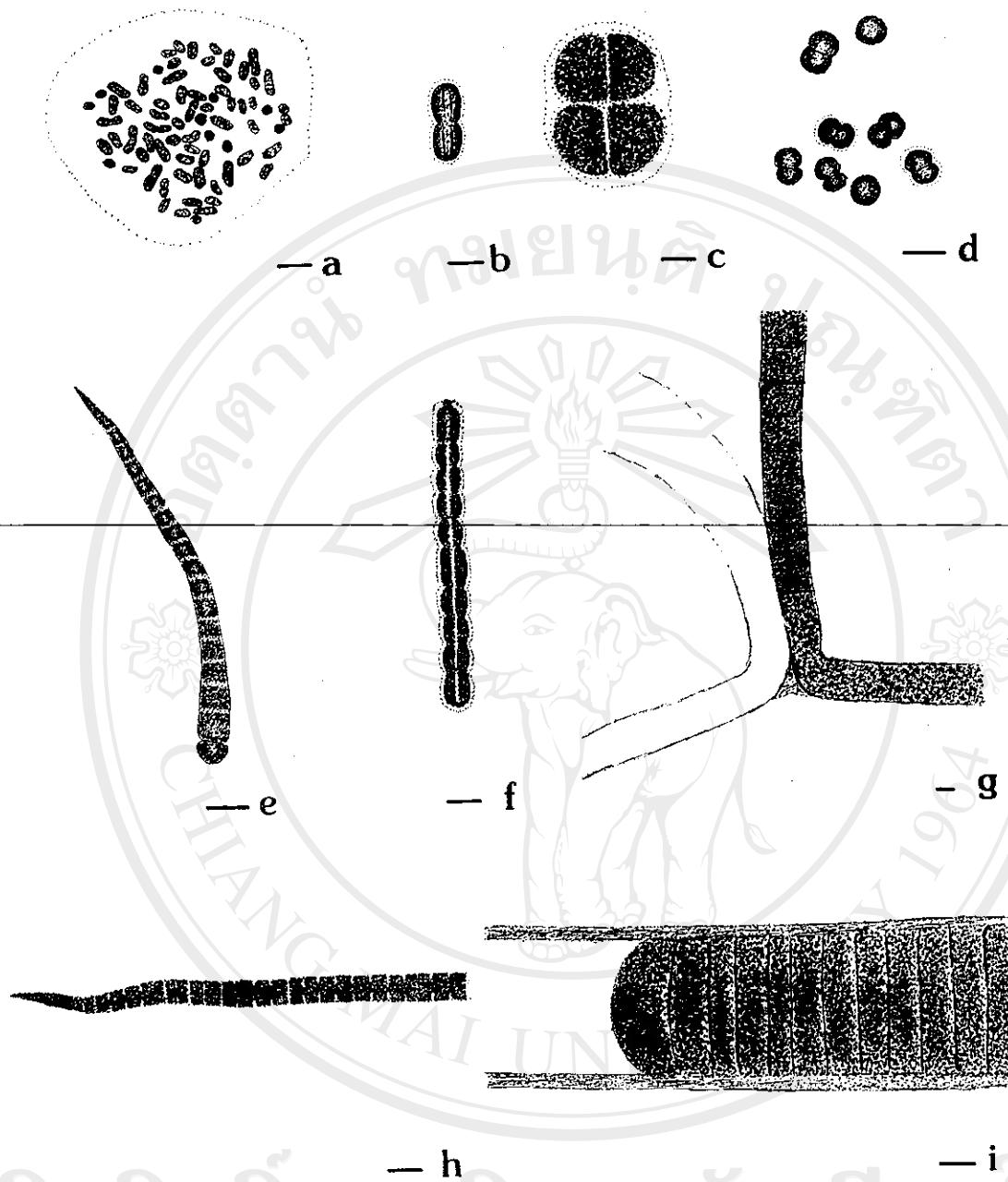
(ภาพ 6 ก d, 6 ข d)

เซลล์มีรูปร่างกลม มน มีเมือกหุ้มอยู่บาง ๆ มักอยู่เดี่ยว ๆ หรือเป็นคู่ (แบ่งเซลล์แต่ยังไม่แยกออกจากกัน) เซลล์มีขนาด 2-3 μm
แหล่งที่อยู่อาศัย อาศัยอยู่ตามพื้นที่ตื้นน้ำ มักพบในแหล่งน้ำพุร้อนที่เป็นด่าง เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40-50 °C

scale 10 μm

ภาพ 6 ก สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางสปีชีส์ที่สำรวจพบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แห่ง

(a-d) **Chroococcales**; (a) *Aphanothece bullosa* (Meneghini) Rabenhorst (b) *Cyanobacterium minervae* (Copeland) Komarek (c) *Cyanosarcina gelatinosa* (Emoto et Yoneda) (d) *Synechocystis minuscula* Voronichin (e) **Nostocales**; *Calothrix thermalis* (Schmidle) Hansg. (f) **Oscillatoriales**; *Pseudanabaena galeata* sensu Anagnostidis (g) **Stigonematales**; *Scytonema coactile* Mont. (h-i) **Oscillatoriales**; (h) *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) - Anagn. Et Kom. (i) *Lyngbya majuscula* Harvey ex Gomont

scale 10 μ m

ภาพ 6 ข ภาพวาดสำหรับยี่ห้อเงินบางสปีชีส์ที่สำรวจพบในน้ำพุร้อนทั้ง 9 แห่ง

(a-d) **Chroococcales**; (a) *Aphanothece bullosa* (Meneghini) Rabenhorst (b) *Cyanobacterium minervae* (Copeland) Komarek (c) *Cyanosarcina gelatinosa* (Emoto et Yoneda) (d) *Synechocystis minuscula* Voronichin (e) **Nostocales**; *Calothrix thermalis* (Schmidle) Hansg. (f) **Oscillatoriales**; *Pseudanabaena galeata* sensu Anagnostidis (g) **Stigonematales**; *Scytonema coactile* Mont. (h-i) **Oscillatoriales**; (h) *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) - Anagn. Et Kom. (i) *Lyngbya majuscula* Harvey ex Gomont

คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของแหล่งน้ำพุร้อน ทั้ง 9 แหล่ง

เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำพุร้อน ทั้ง 9 แหล่ง ระหว่างเดือน ตุลาคม 2542 ถึง กันยายน 2543 ใน 2 จุด คือ จุดเลี้ยงและจุดฝน (ภาคผนวก ก ตาราง 12-20 , ภาพ 7-22) ยกเว้นในแหล่งน้ำพุร้อนแม่แฝง และน้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก ไม่ได้ศึกษาในจุดเลี้ยง พบว่าฤดูกาล ไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำ โดยพบว่าในทุก ๆ parameters ที่ทำการตรวจวัดในจุดเลี้ยง และจุดฝน ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของทั้ง 9 แหล่ง พบว่าทุกแหล่งจะมีค่า pH เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (7-9.6) โดยในแต่ละฤดูกาล ค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก (ภาพ 7-8)

ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) พบว่าทุกแหล่งจะมีค่าสูง ซึ่งค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติมาก เป็นผลมาจากน้ำร้อนได้ละลายเอาแร่ธาตุต่าง ๆ ออกมา โดยเฉพาะแคลเซียมซัลเฟต แต่เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละฤดูกาล พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพ 9-10)

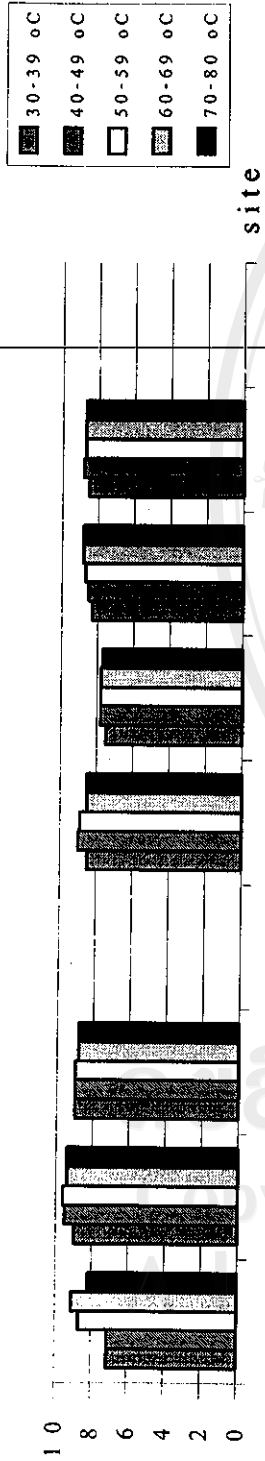
ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ของน้ำ พบว่าทุกแหล่งมีค่าความเป็นด่างสูงกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติมาก โดยค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 105-410 mg.l⁻¹ ซึ่งส่วนใหญ่ เกิดจากอนุพลของไบคาร์บอเนต สอดคล้องกับการรายงานของกรมทรัพยากรธรณี (2529) ที่รายงานว่าน้ำพุร้อนทางภาคเหนือของไทย ส่วนใหญ่เป็นพวก alkaline sodium bicarbonate water (ภาพ 11-12)

ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) พบว่ามีความสัมพันธ์กับช่วงอุณหภูมิ โดยพบว่าที่อุณหภูมิสูง ค่า DO ก็จะลดลง สอดคล้องกับผลการทดลอง โดยพบว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 50 °C น้ำพุร้อนส่วนใหญ่ จะมีค่า DO เท่ากับศูนย์ เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละฤดู พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพ 13-14)

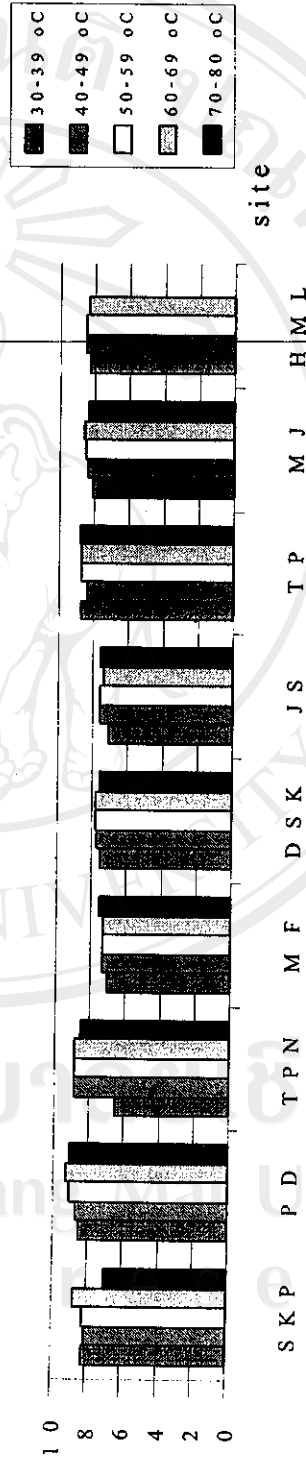
ปริมาณซัลไฟด์ (S²⁻) พบว่าค่าซัลไฟด์ในทุกแหล่งน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิสูงปริมาณซัลไฟด์จะสูงตามไปด้วย และจะลดลงตามระยะทางของธารน้ำพุร้อนที่ไหลออกจากบ่อน้ำพุร้อนหรือน้ำพุที่พุ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละฤดูส่วนใหญ่พบว่าปริมาณซัลไฟด์ในหน้าแล้งจะมีค่าสูงกว่าหน้าฝน (ภาพ 15-16)

ปริมาณสารอาหาร ได้แก่ soluble reactive phosphorus (SRP) ในเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียมไนโตรเจน พบว่า ค่า SRP อยู่ในช่วง 0.12-1.7 mg.l⁻¹ ค่าไนเตรทไนโตรเจน อยู่ในช่วง 0.1-8.4 mg.l⁻¹ ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.00-0.178 mg.l⁻¹ โดยเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละฤดู พบว่าค่ามีความใกล้เคียงกัน (ภาพ 17-22)

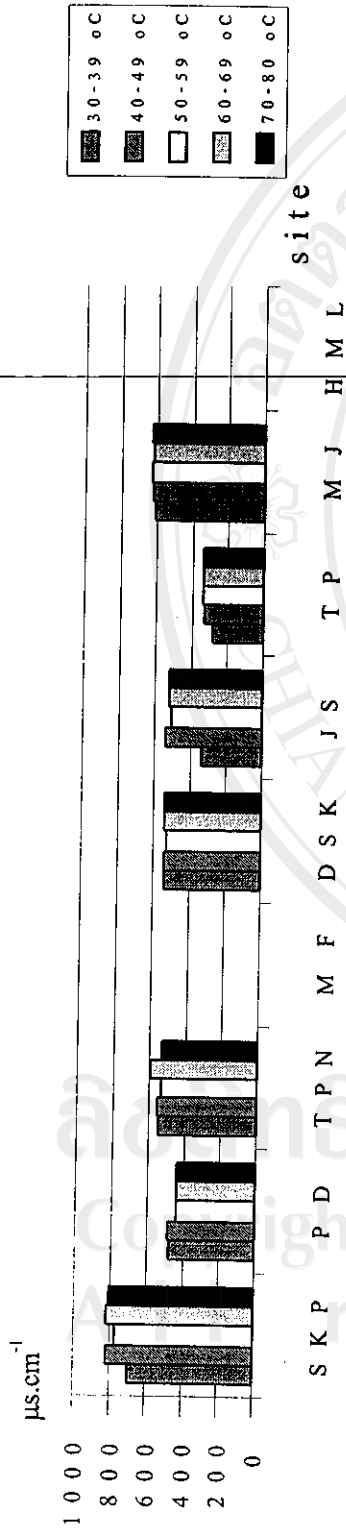
ความขุ่นของแหล่งน้ำ พบว่าน้ำพุร้อนเกือบทุกแหล่งมีความใสมาก ความขุ่นต่ำ ยกเว้นน้ำพุร้อนโป่งเดือดในหน้าฝน ช่วงอุณหภูมิ 30-49 °C และน้ำพุร้อนเทพนม ในหน้าฝน ช่วงอุณหภูมิ 30-39°C พบว่ามีค่าความขุ่นสูง เนื่องจากกระแสน้ำไหลแรง และได้รับอิทธิพลจากน้ำภายนอกเข้ามาปน (ภาคผนวก ก ตาราง 12-20)



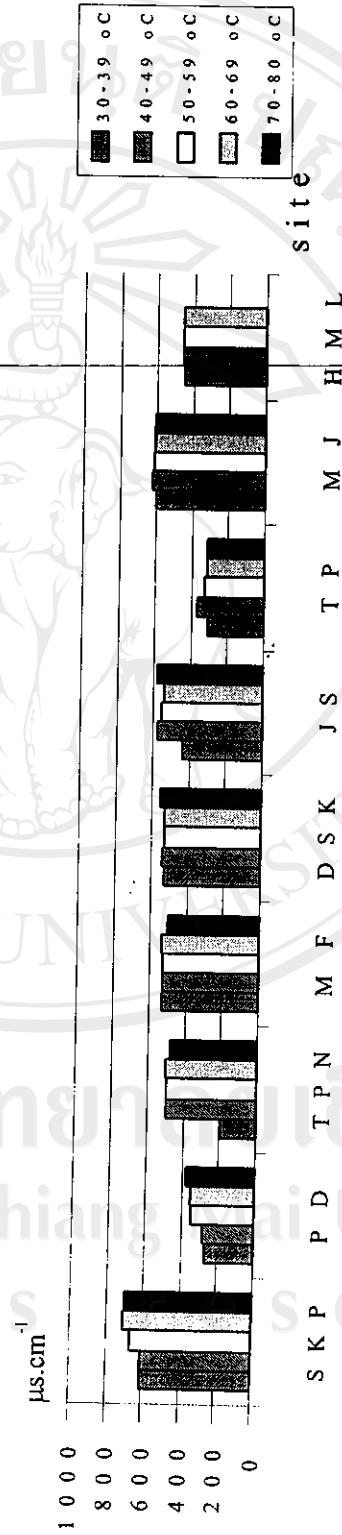
ภาพ 7 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ในฤดูแล้ง
 SKP = น้ำพุร้อนสันกำแพง PD = น้ำพุร้อนโป่งเดือด TPN = น้ำพุร้อนเทพนม MF = น้ำพุร้อนแม่แฝง DSK = ไป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด
 JS = น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน TP = น้ำพุร้อนท่าปาย MJ = ไป่งน้ำร้อนแม่จัน HML = น้ำพุร้อนห้วยมากเทียม



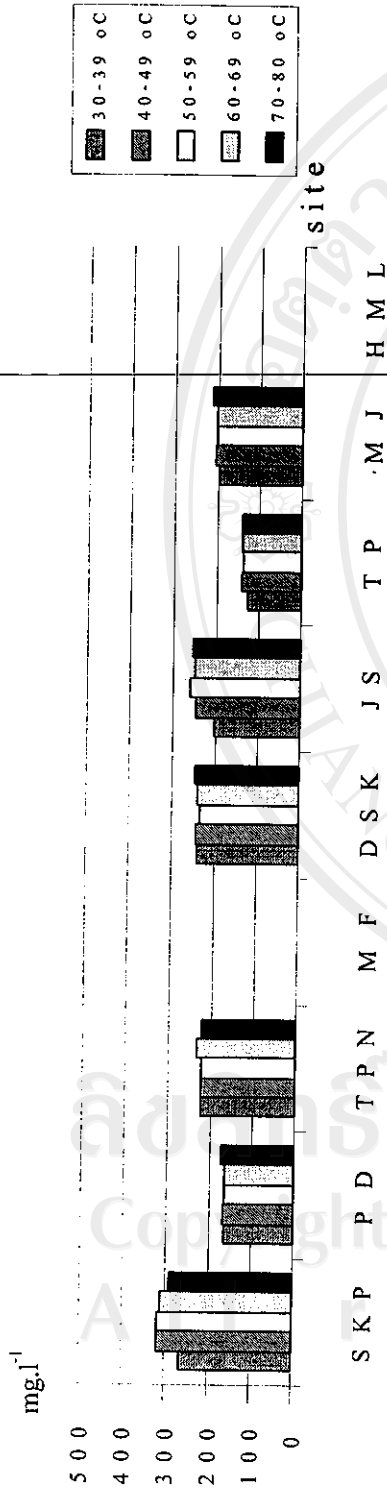
ภาพ 8 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ในฤดูฝน



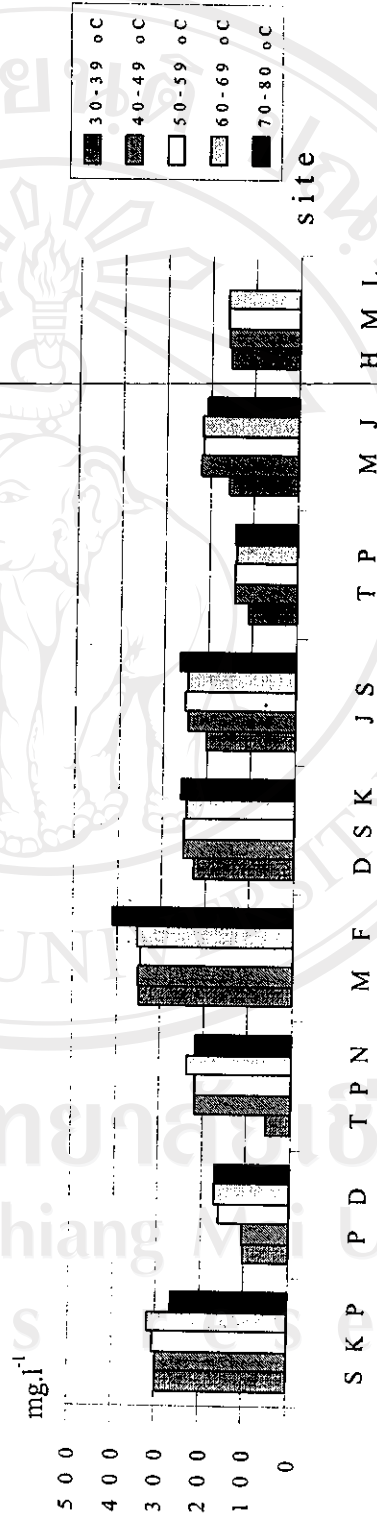
ภาพ 9 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) ของน้ำพร้อมทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



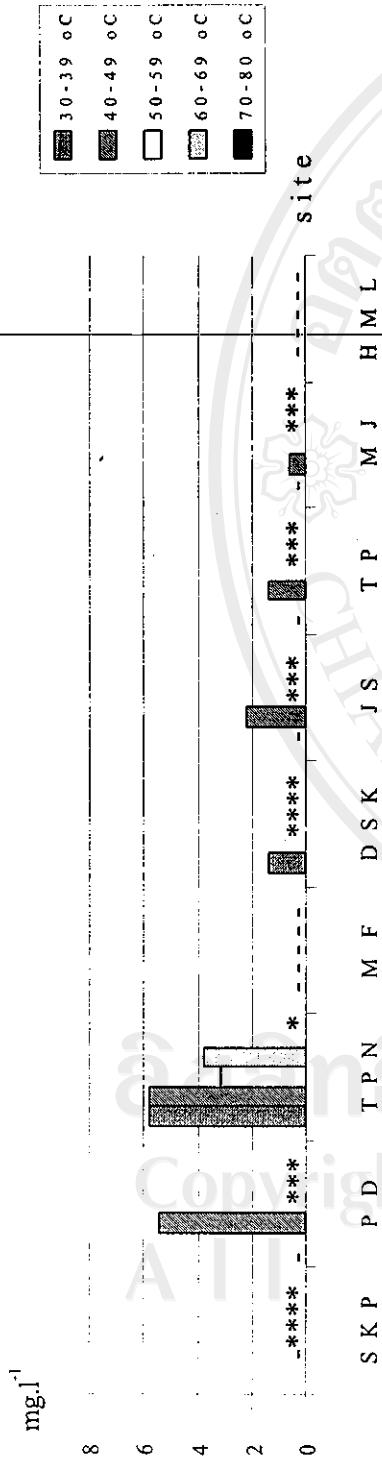
ภาพ 10 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) ของน้ำพร้อมทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน



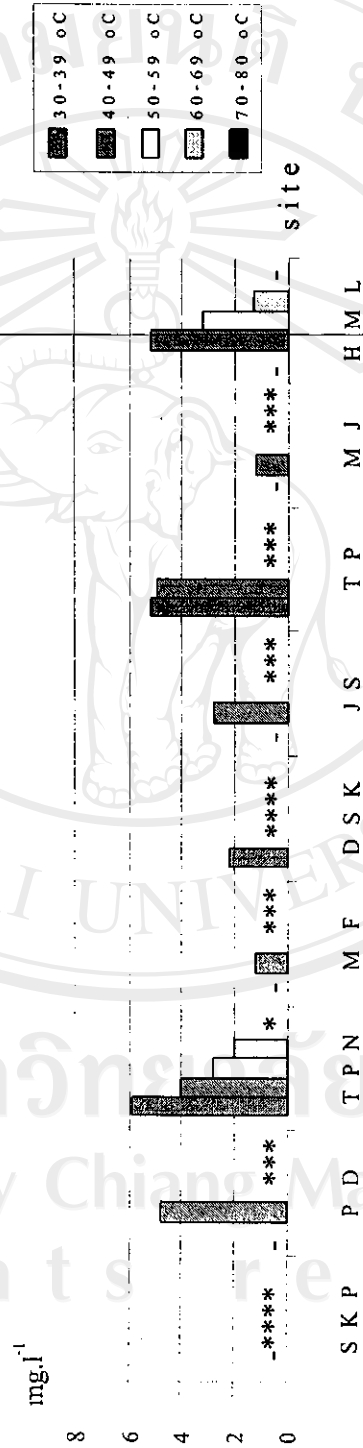
ภาพ 11 ความเป็นด่าง (mg.l⁻¹) ของน้ำปูร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



ภาพ 12 ความเป็นด่าง (mg.l⁻¹) ของน้ำปูร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน



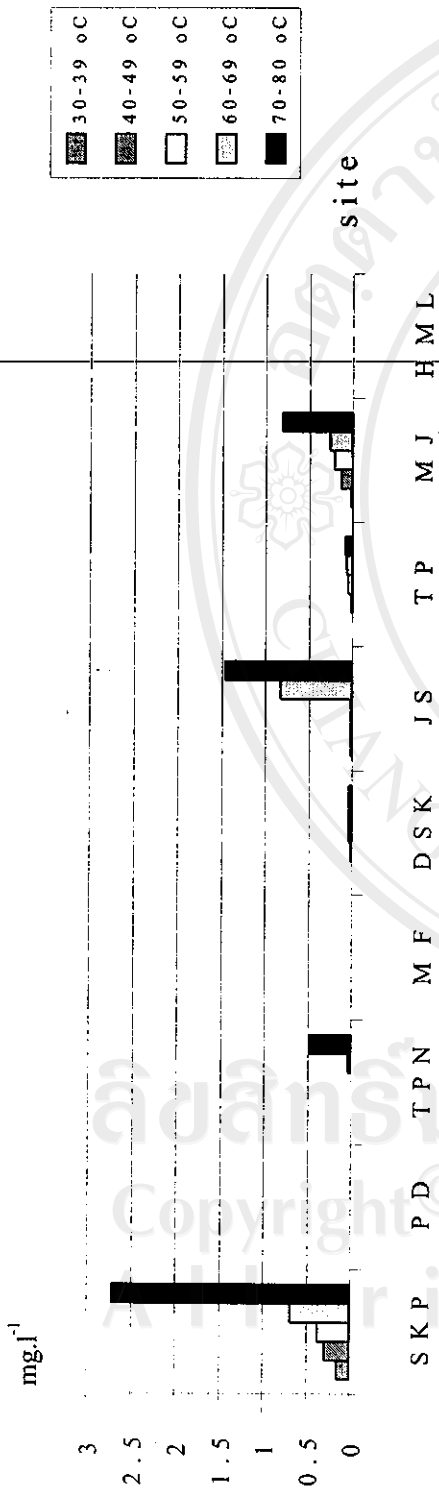
ภาพ 13 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แห่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



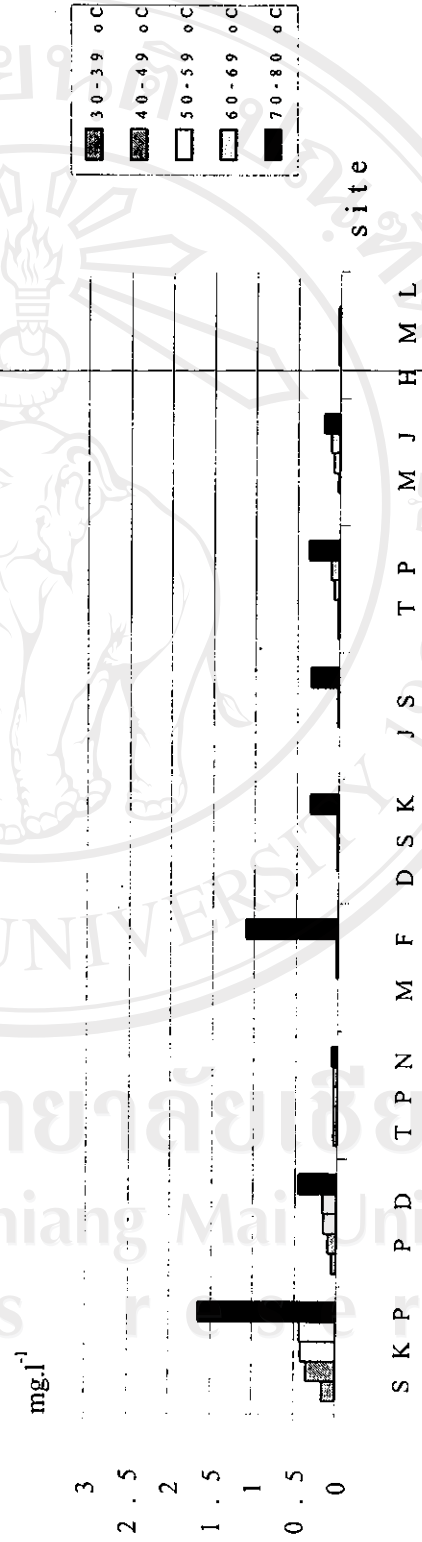
ภาพ 14 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แห่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณออกซิเจนมีค่าเป็นศูนย์

- หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด



ภาพ 15 ปริมาณ sulfide (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



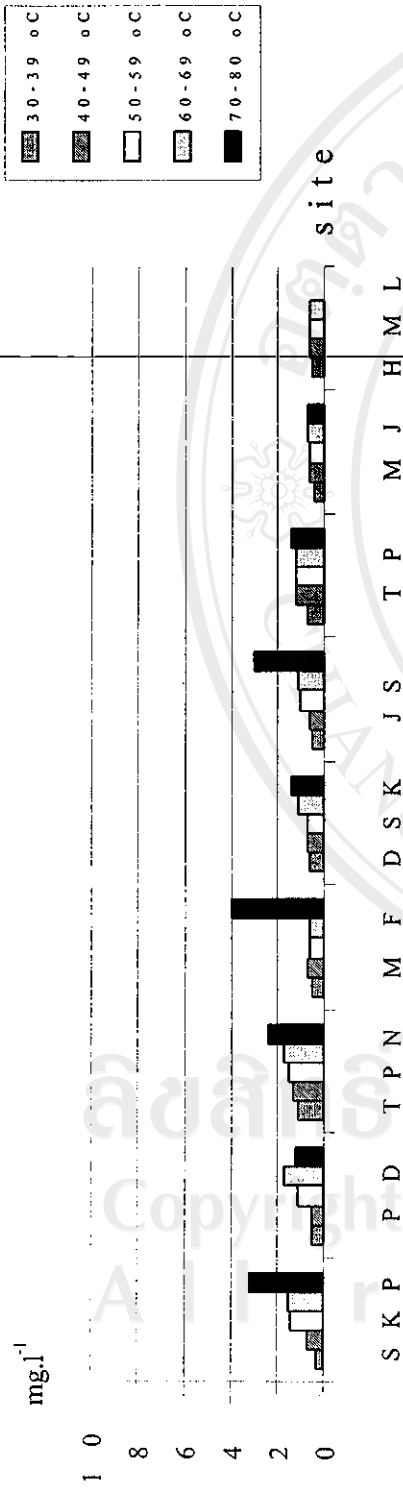
ภาพ 16 ปริมาณ sulfide (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน



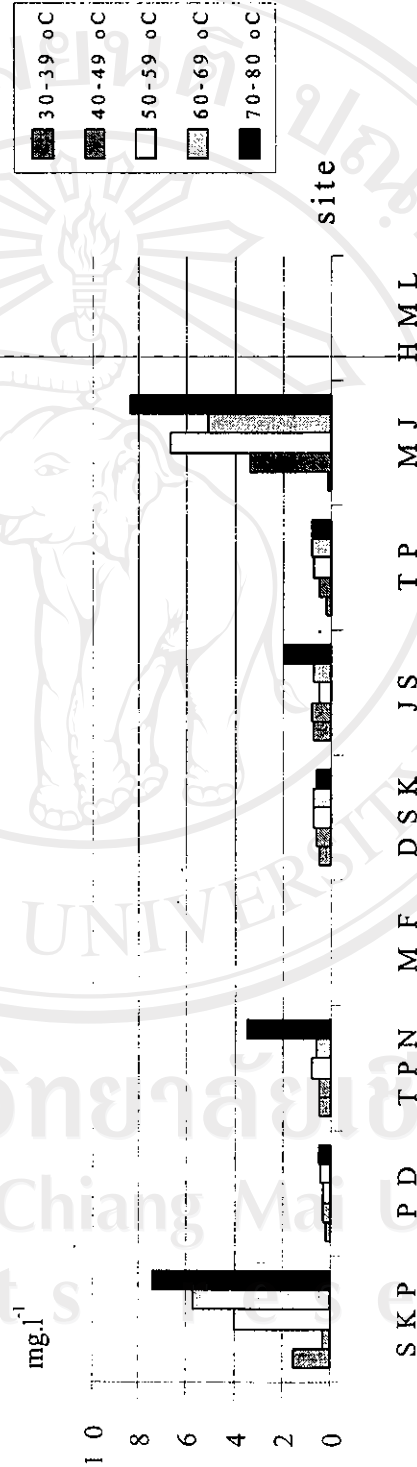
ภาพ 17 ปริมาณ SRP (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



ภาพ 18 ปริมาณ SRP (mg.l⁻¹) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน



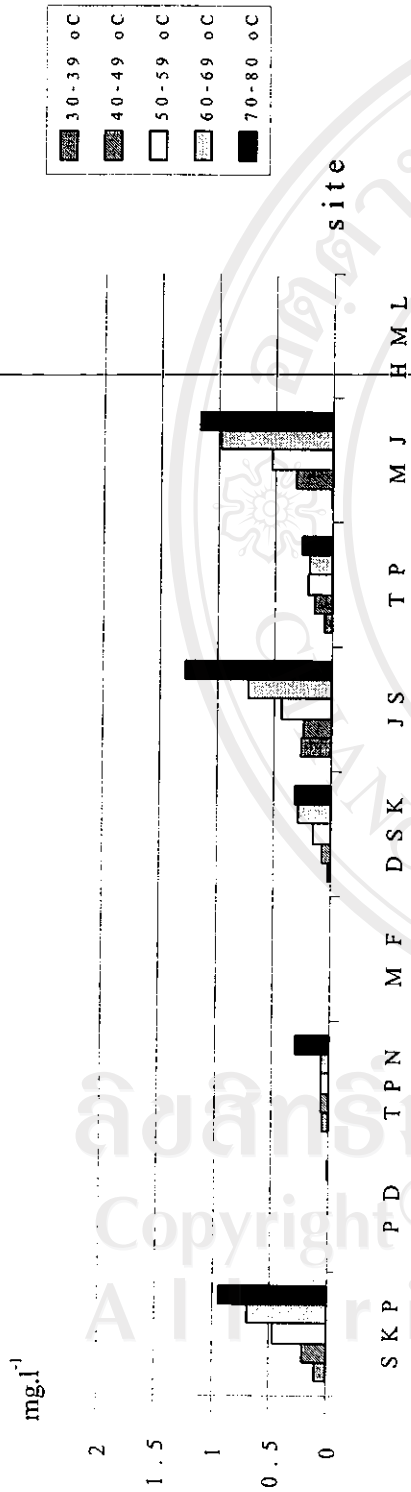
ภาพ 19 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้ง



ภาพ 20 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (mg.l^{-1}) ของน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูฝน

เลขหมู่.....

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ภาพ 21 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (mg.l⁻¹) ของน้ำพร้อมทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ในฤดูแล้ง



ภาพ 22 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (mg.l⁻¹) ของน้ำพร้อมทั้ง 9 แหล่งในช่วงอุณหภูมิ 30-80 °C ในฤดูฝน

ชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถแยกให้บริสุทธิ์

จากการคัดแยกตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บจากน้ำพุร้อนด้วยอาหาร BG 11 medium โดยวิธี streak plate หรือ spread plate พบว่าสามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้บริสุทธิ์ได้ทั้งหมด 8 สปีชีส์ จากน้ำพุร้อนทั้ง 9 แหล่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันดังนี้

Chroococcidiopsis thermalis Geitler (ภาพ 23 ก a, 23 ข a) แยกได้จากน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 68 °C

Lyngbya limnetica Lemmermann (ภาพ 23 ก e, 23 ข e) แยกได้จากน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 46 °C

Lyngbya perelegans Lemmermann (ภาพ 23 ก f, 23 ข f) แยกได้จากน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 43 °C

Mastigocladus laminosus Cohn (ภาพ 23 ก h, 23 ข h) แยกได้จากน้ำพุร้อนคอกสะเกิดและน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 41 และ 49 °C

Phormidium sp. (ภาพ 22 ก g, 23 ข g) แยกจากน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 42 °C

Synechococcus bigranulatus Skuja (ภาพ 23 ก b, 23 ข b) แยกได้จากน้ำพุร้อนโป่งเดือด เก็บจากอุณหภูมิ 62 °C

Synechococcus lividus Copeland (ภาพ 23 ก c, 23 ข c) แยกจากน้ำพุร้อนสันกำแพง เก็บจากอุณหภูมิ 50 °C

Synechococcus sp. (ภาพ 23 ก d, 23 ข d) แยกจากน้ำพุร้อนสันกำแพงและน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน โดยเก็บจากอุณหภูมิ 73 °C จากน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน และอุณหภูมิ 49 °C จากน้ำพุร้อนสันกำแพง

จากการศึกษารูปร่างและโครงสร้างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถแยกให้บริสุทธิ์ มีรายละเอียดดังนี้

1. *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler

(ภาพ 23 ก a, 23 ข a)

เซลล์มีลักษณะเป็นทรงกลม อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ๆ ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ (envelope) ที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและมีลักษณะที่แน่นอน เซลล์มีขนาด 9 – 10 µm อาจมีขนาดถึง 35 µm หลังจากเซลล์มีการแบ่งตัว เซลล์มีสีเขียวแกมน้ำเงิน มีเม็ด granule อยู่ภายในเซลล์

โคโลนีอาจถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ที่มองเห็นได้ชัดเจน หรือมองไม่เห็นขนาดของโคโลนีมีหลายขนาด

2. *Lyngbya limnetica* Lemmermann

(ภาพ 23 ก e, 23 ข e)

มีลักษณะเป็นเส้นสายเดี่ยว ๆ รูปร่างโค้งงอ ขนาด $1.5 - 2 \mu\text{m}$ มีเมือกหุ้ม (sheath) ไม่มีสี อยู่ติดกับเซลล์ trichome แต่ละ trichome ไม่ติดกัน มีขนาด $1.0 - 1.2 \mu\text{m}$ เซลล์มีความยาวมากกว่า ความกว้าง $1.4 - 1.6$ เท่า ยาว $1.4 - 1.9 \mu\text{m}$ ปลายเซลล์มน มีเมือกหุ้มยื่นเลยออกไป

3. *Lyngbya perelegans* Lemmermann

(ภาพ 23 ก f, 23 ข f)

มีลักษณะเป็นเส้นสายเดี่ยว ๆ อยู่พั่นกัน รูปร่างตรงหรือโค้งงอ ขนาด $2 - 3 \mu\text{m}$ มีเมือกหุ้มไม่มีสีอยู่ติดกับเซลล์ trichome แต่ละ trichome ไม่อยู่ติดกัน มีขนาด $1.5 - 1.8 \mu\text{m}$ ปลายเซลล์เป็นรูปทรงกระบอก พนักกันเซลล์มีเม็ด granule ในแต่ละด้าน มีเมือกหุ้มเซลล์ยื่นเลยออกไป เซลล์มีสีเขียวแกมน้ำเงิน

4. *Mastigocladus laminosus* Cohn

(ภาพ 23 ก h, 23 ข h)

มีลักษณะเป็นเส้นสาย เซลล์มีความหนาเนื่องจากมี calcium carbonate เส้นสายอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ มีความกว้าง $4 - 6 (8) \mu\text{m}$ รูปร่างโค้งงอ เห็นเมือกหุ้มชัดเจน เซลล์มีลักษณะคล้ายกลองจนถึงรูปทรงกระบอกสั้น มีการแตกแขนงแบบ true branching เส้นที่แตกแขนงออกไป มีขนาด $3 \mu\text{m}$ มีลักษณะตั้งตรง มี heterocysts อยู่ระหว่างเซลล์ รูปร่างกลมหรือรูปไข่ มีขนาดกว้างกว่าเซลล์ปกติ คือกว้างถึง $6.5 \mu\text{m}$ อาจจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือ 2 เซลล์ติดกัน

5. *Phormidium* sp.

(ภาพ 22 ก g, 23 ข g)

มีลักษณะเป็นเส้นสาย เจริญแบบเกาะอยู่ตามขอบบ่อน้ำพุร้อนลอยอยู่ในน้ำ เซลล์มีเมือกหุ้มบางและไม่มีสี trichome เป็นรูปทรงกระบอก ตรงปลายแหลม มีลักษณะตรงหรือโค้งงอ มีขนาด $3 \mu\text{m}$ มีเม็ด granule อยู่ภายในเซลล์

6. *Synechococcus bigranulatus* Skuja

(ภาพ 23 ก b, 23 ข b)

เซลล์อยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม มีสีเขียว สีเขียวแกมน้ำเงินอ่อน สีเขียวเข้ม หรือสีเขียวมะกอก (เมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง) เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาว ตรงหรือโค้งเล็กน้อย ปลายมน บางครั้งมีการแบ่งเซลล์แบบ 2 เซลล์ติดกันหรือมากกว่า ตรงปลายเซลล์ทั้งสองด้านจะมีเม็ด granule มีขนาด $10 - 40 \times 2 \mu\text{m}$

7. *Synechococcus lividus* Copeland

(ภาพ 23 ก c, 23 ข c)

เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่ง ตรงหรือโค้งเล็กน้อย บางครั้งมีการแบ่งเซลล์แบบ 2 เซลล์ติดกัน มีขนาด $5 - 15 \times 2 \mu\text{m}$ เป็นสปีชีส์ที่พบในอุณหภูมิสูง (มากกว่า 50°C)

8. *Synechococcus* sp.

(ภาพ 23 ก d, 23 ข d)

เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก หรือรูปไข่ ปลายมน มีความกว้าง 5 – 10 μm ยาว 15 – 30 μm อยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ บางครั้งมีการแบ่งแบบ 2 เซลล์ติดกัน มีเมือกหุ้มเซลล์แต่บางมาก

ชนิดของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่สามารถแยกได้

จากการคัดแยกตัวอย่างแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เก็บจากน้ำพุร้อนในช่วงอุณหภูมิ 60-80 $^{\circ}\text{C}$ โดยใช้อาหารสูตร PE เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}\text{C}$ ภายใต้สภาวะไร้อากาศและมีแสงพบว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกได้คือ *Chloroflexus* sp. (Pierson and Castenholz, 1974) (ภาพ 24) เป็นกลุ่ม green sulfur bacteria จัดอยู่ใน แฟมิลี Chloroflexaceae

การศึกษาความทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (30-70 $^{\circ}\text{C}$) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทนร้อนทั้ง 8 สปีชีส์

จากการศึกษาความสามารถ ในการเจริญหรือทนอุณหภูมิในช่วงกว้างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทนร้อนทั้ง 8 สปีชีส์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในตู้ปรับอุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 $^{\circ}\text{C}$ พบว่าการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 8 สปีชีส์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ตาราง 11) มีดังนี้

Chroococcidiopsis thermalis Geitler และ *Synechococcus bigranulatus* Skuja เก็บจากช่วงอุณหภูมิ 60-70 $^{\circ}\text{C}$ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 55 $^{\circ}\text{C}$ ทำให้สามารถจัดสาหร่ายสปีชีส์นี้เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง (30-70 $^{\circ}\text{C}$)

Lyngbya limnetica Lemmermann *Lyngbya perelegans* Lemmermann และ *Phormidium* sp. เก็บจากช่วงอุณหภูมิ 40-50 $^{\circ}\text{C}$ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 30 และ 45 $^{\circ}\text{C}$ จึงสามารถจัดสาหร่ายสปีชีส์นี้เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (30-50 $^{\circ}\text{C}$)

Mastigocladus laminosus Cohn เก็บจากช่วงอุณหภูมิ 40-60 $^{\circ}\text{C}$ สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 30 และ 45 $^{\circ}\text{C}$ ทำให้สามารถจัดสาหร่ายสปีชีส์นี้เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (30-60 $^{\circ}\text{C}$)

Synechococcus lividus Copeland เก็บจากช่วงอุณหภูมิ 50-60 $^{\circ}\text{C}$ และสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 30, 45 และ 55 $^{\circ}\text{C}$ ทำให้สามารถจัดสาหร่ายสปีชีส์นี้เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (30-60 $^{\circ}\text{C}$)

Synechococcus sp. เก็บจากช่วงอุณหภูมิ 60-80 °C และสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 °C จากการเจริญในหลายอุณหภูมิ ทำให้สามารถจัดสาหร่ายสีนี้ เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (30-80 °C)

จากการที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 8 สปีชีส์ สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ซึ่งอาจจะเป็นอุณหภูมิที่กว้างมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละชนิด จึงจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 8 สปีชีส์ เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (thermotolerant blue-green algae)

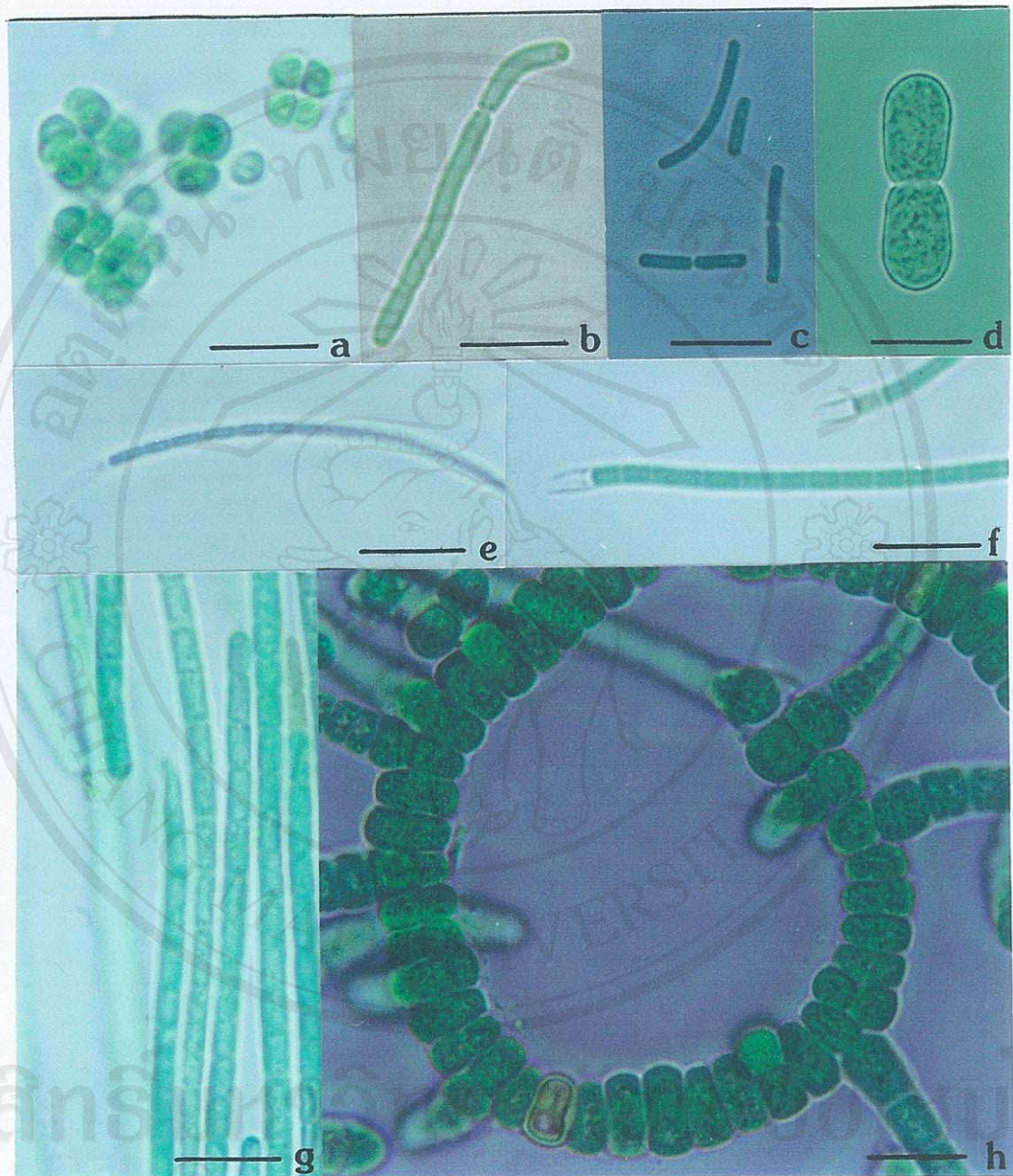
การเก็บรวบรวมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่บริสุทธิ์ (ภาพ 25)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกให้บริสุทธิ์ได้แล้วจะเก็บไว้ในอาหารแข็งโดยใช้อาหารเหลวสูตร BG-11 ในขวดอาหารเอียง (agar slant) แช่ไว้ในตู้เย็นเพื่อให้สาหร่ายสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานโดยหยุดการเจริญเติบโต เนื่องจากการเก็บไว้ในตู้เย็นเพียงอย่างเดียวจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตไปเรื่อย ๆ และดึงเอาสารอาหารจากการเพาะเลี้ยงมาใช้จนหมดทำให้ต้องมีการต่อเชื้อจากอาหารเก่าไปสู่อาหารใหม่เร็วกว่าการเก็บไว้ในตู้เย็น ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะเก็บในอาหารแข็งโดยใช้อาหารสูตร PE ในหลอดทดลอง และแช่ไว้ในตู้เย็นเช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

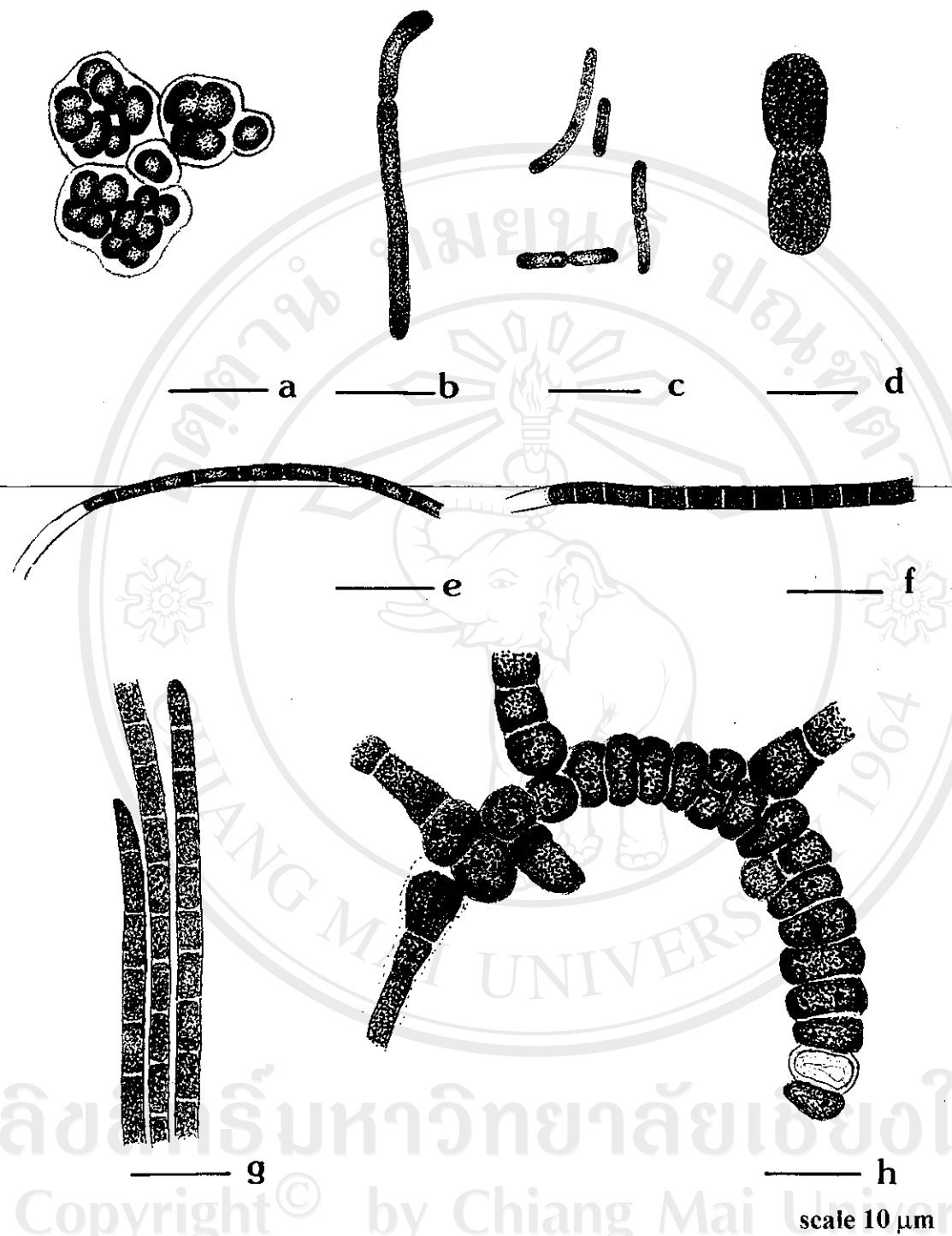
Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

scale 10 μm

ภาพ 23 ก. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกเป็นสปีชีส์เดี่ยว หรือ axenic culture

(a-d) **Chroococcales**; (a) *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler (b) *Synechococcus bigranulatus* Skuja (c) *Synechococcus lividus* Copeland (d) *Synechococcus* sp. (e-g) **Oscillatoriales**; (e) *Lyngbya limnetica* Lemmermann (f) *Lyngbya perelegans* Lemmermann (g) *Phormidium* sp. (h) **Stigonematales**; *Mastigocladus laminosus* Cohn



ภาพ 23 ข ภาพวาดสัณฐานวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกเป็นสปีชีส์เดี่ยว หรือ axenic culture

(a-d) **Chroococcales**; (a) *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler (b) *Synechococcus bigranulatus* Skuja (c) *Synechococcus lividus* Copeland (d) *Synechococcus* sp. (e-g) **Oscillatoriales**; (e) *Lyngbya limnetica* Lemmermann (f) *Lyngbya perelegans* Lemmermann (g) *Phormidium* sp. (h) **Stigonematales**; *Mastigocladus laminosus* Cohn



scale 10 μ m

ภาพ 24 แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกได้เป็นชนิดเดียว *Chloroflexus* sp.

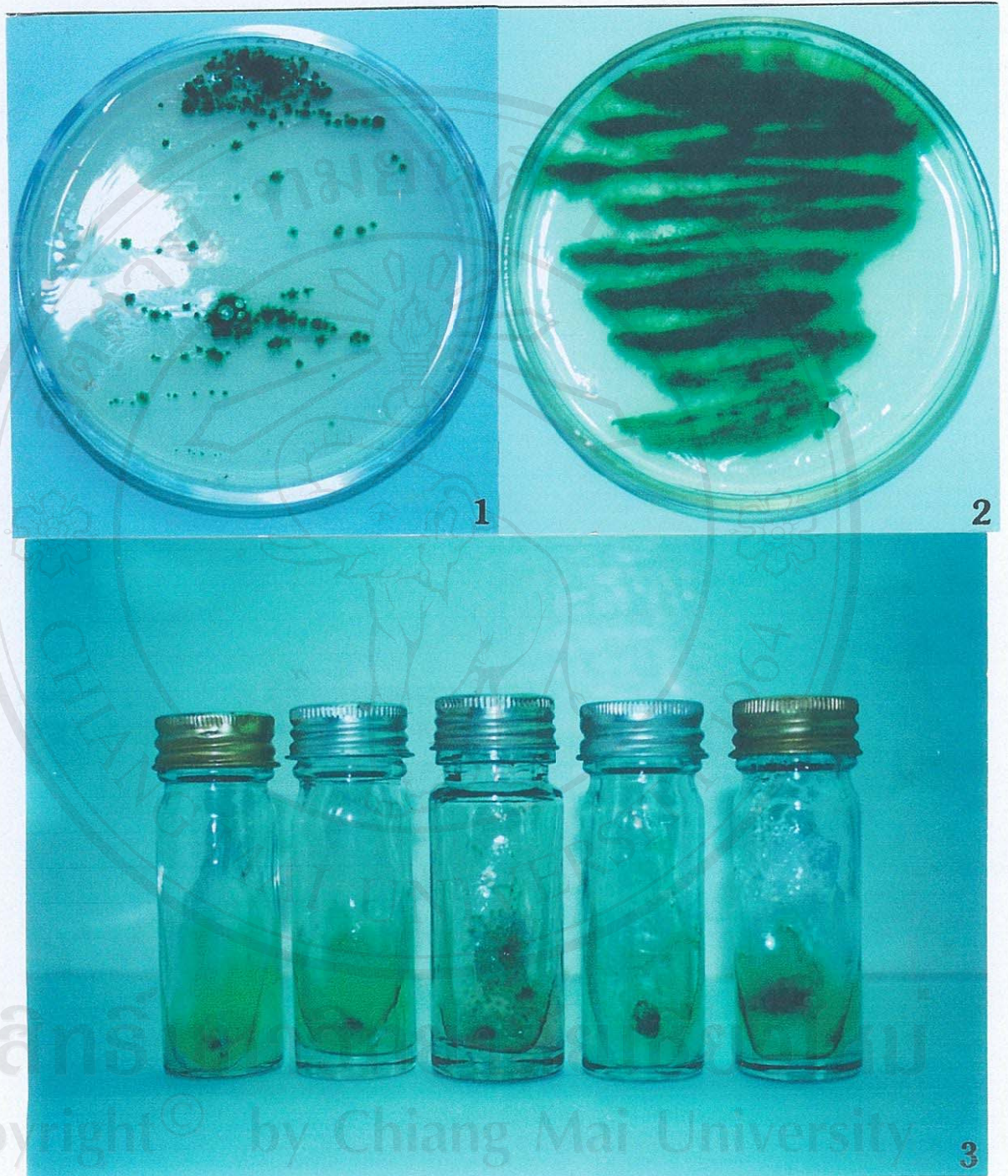
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 25 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่อุณหภูมิต่างๆ

- (1) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในตู้ปรับอุณหภูมิ 55 °C
- (2) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในตู้ปรับอุณหภูมิ 70 °C
- (3) การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในตู้ปรับอุณหภูมิ 70 °C



ภาพ 26 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในอาหารแข็ง

(1 และ 2) การตัดแยกโดยใช้วิธีการ streak plate ในจานอาหารเพาะเลี้ยง

(3) การเก็บ axenic culture ในอาหารเอียง (agar slant) เพื่อเก็บเป็น culture collection

ตาราง 11 สปีชีส์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เก็บจากช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ และสามารถเพาะเลี้ยงได้ในอุณหภูมิที่กำหนด

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิที่เพาะเลี้ยงได้ (°C)
<i>Chroococcidiopsis thermalis</i> Geitler	60-70	30, 45 และ 55
<i>Lyngbya limnetica</i> Lemmermann	40-50	30 และ 45
<i>Lyngbya perelegans</i> Lemmermann	40-50	30 และ 45
<i>Mastigocladus laminosus</i> Cohn	40-60	30 และ 45
<i>Phormidium</i> sp.	40-50	30 และ 45
<i>Synechococcus bigramulatus</i> Skuja	60-70	30, 45 และ 55
<i>Synechococcus lividus</i> Copeland	50-60	30, 45 และ 55
<i>Synechococcus</i> sp.	60-80	30, 45, 55 และ 70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

การแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงให้บริสุทธิ์

จากการคัดแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เก็บจากช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสปีชีส์เดี่ยว หรือ axenic culture ได้ทั้งหมด 8 สปีชีส์ คือ *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler, *Lyngbya limnetica* Lemmermann, *Lyngbya perelegans* Lemmermann, *Mastigocladus laminosus* Cohn, *Phormidium* sp., *Synechococcus bigranulatus* Skuja, *Synechococcus lividus* Copeland และ *Synechococcus* sp. ซึ่งแต่ละสปีชีส์สามารถแยกได้จากอุณหภูมิที่ต่างกันตั้งแต่ 30-70 °C ที่น่าสนใจ คือ สปีชีส์ที่สามารถแยกได้จากอุณหภูมิสูงถึง 70 °C คือ *Synechococcus* sp. ซึ่งนับได้ว่ามีน้อยสปีชีส์ที่มีการเจริญเติบโตในอุณหภูมิสูงมากเช่นนี้ อีกสปีชีส์หนึ่งคือ *Synechococcus lividus* สามารถแยกได้ที่อุณหภูมิ 55 °C ซึ่งสอดคล้องกับงานของวิรัชชัย (2534) ที่สามารถแยก *Synechococcus elongatus* จากน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เช่นกัน นอกจากนั้นวิรัชชัยยังสามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสปีชีส์อื่น ๆ อีก 4 สปีชีส์ จากน้ำพุร้อน ที่อุณหภูมิ 24 และ 32 °C ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับงานวิจัยครั้งนี้ แสดงว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการคัดแยกสาหร่ายและน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยสปีชีส์ของสาหร่ายจากน้ำพุร้อนได้เช่นเดียวกัน

การที่สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechococcus* sp. จากน้ำพุร้อนอุณหภูมิ 70 °C นับเป็นความสำเร็จที่ดีของการวิจัยครั้งนี้ เพราะแทบจะไม่มีงานวิจัยที่สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้จากอุณหภูมิสูง ๆ เช่นนี้ แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ไม่สามารถวินิจฉัยถึงระดับสปีชีส์ได้ทั้งที่ได้พยายาม แม้จะเป็นการส่งตัวอย่างให้ผู้เชี่ยวชาญชาวต่างประเทศดูแล้วก็ตาม ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่อาจจะเป็นสปีชีส์ใหม่ (new species) ซึ่งคงต้องติดตามศึกษาต่อไป การที่แยกได้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อุณหภูมิเช่นนี้จะเป็นแนวทางให้สามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ในกระบวนการผลิตต้องใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งปกติกระบวนการทางด้านอุตสาหกรรมก็ใช้อุณหภูมิสูงอยู่แล้ว จึงนับว่าเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าที่สมควรนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสง จากการคัดแยกโดยการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร PE ที่อุณหภูมิ 70 °C พบว่าสามารถแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้ 1 สปีชีส์คือ *Chloroflexus* sp. เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pierson and Castenholz (1974) ได้ทำการแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากน้ำพุร้อนแบบ alkaline springs พบว่าสามารถแยก *Chloroflexus aurantiacus* ได้ และ Castenholz (1973) ได้ศึกษาอุณหภูมิในการเจริญของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง พบว่าสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ

40-65 °C จึงเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูงเช่นเดียวกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินดังกล่าวแล้ว

การศึกษาความทนอุณหภูมิในช่วงกว้างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

จากการศึกษาความสามารถในการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกได้ทั้ง 8 สปีชีส์ โดยการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 ที่อุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70 °C พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทุกสปีชีส์สามารถเจริญได้ในทุกอุณหภูมิ บางสปีชีส์สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก คือ *Synechococcus* sp. เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-80 °C บางสปีชีส์เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างไม่มากนัก คือในช่วงอุณหภูมิ 30-50 °C ดังนั้นจึงสามารถจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 8 สปีชีส์ เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (thermotolerant blue-green algae) ได้ งานวิจัยครั้งนี้ได้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Jackson and Castenholz (1975) อ้างโดย Brock (1978) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่แยกได้จากอุณหภูมิ 45 °C โดยนำมาเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญได้ นอกจากนี้ Brock (1978) ได้อ้างถึง Castenholz (1969) ว่าได้ทำการศึกษาความเป็น thermotolerant ของ *Mastigocladus* sp. โดยการเพาะเลี้ยง *Mastigocladus* sp. ที่เก็บจากอุณหภูมิ 60-62 °C ที่อุณหภูมิ 45 และ 62 °C พบว่าสามารถเจริญได้ จากการที่แยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้จากอุณหภูมิต่าง ๆ แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติในการเป็น thermotolerant blue-green algae และพบว่าสาหร่ายทุก สปีชีส์มีคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นผลการวิจัยที่ดีมาก เนื่องจากสาหร่ายที่แยกมาได้ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในกิจกรรมที่ใช้อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้เป็นอย่างดี และจากความสามารถในการเจริญของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในหลายอุณหภูมินี้เป็นจุดที่น่าสนใจในการที่จะนำสาหร่ายเหล่านี้ไปศึกษาต่อหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

การกระจายของสาหร่ายตามช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

จากการสำรวจสปีชีส์และปริมาณสาหร่ายดังตาราง 1 และภาพ 2 ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 40-49 °C จะมีจำนวนและสปีชีส์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุด รองลงมาคือช่วงอุณหภูมิ 30-39 °C, 50-59 °C, 60-69 °C และ 70-80 °C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Brock (1978) ได้ทำการสำรวจปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10-75 °C พบว่าอุณหภูมิตั้งแต่ 10-30 °C จะมีปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่มากนัก และปริมาณสาหร่ายจะพบมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 30-39 °C จากนั้นจะเริ่มลดลงจน

กระทั่งอุณหภูมิ 65-72 °C ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะพบน้อยที่สุดคือ 1 สปีชีส์ อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่กำหนดสปีชีส์และปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

เมื่อนำข้อมูลจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายในแต่ละช่วงอุณหภูมิในทุกๆ ฤดูกาลมาวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิต่างกันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนสปีชีส์สาหร่าย โดยพบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายจะลดลง เป็นการยืนยันผลการทดลองให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

จากการศึกษาสปีชีส์และปริมาณของสาหร่าย นอกจากระดับอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดการกระจายสปีชีส์ของสาหร่ายแล้วลักษณะของ substrate เช่น ดิน ก้อนหิน กรวด เป็นต้น ก็เป็นตัวกำหนดสปีชีส์ของสาหร่ายดังจะเห็นว่าสาหร่ายบางสปีชีส์เช่น *Calothrix* มีความจำเพาะต่อ substrate เช่น หิน ไม้ ก้อนหิน ซึ่งสาหร่ายแต่ละสปีชีส์มีความจำเพาะต่อ substrate แตกต่างกันไป นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ชัลไฟด์ ปริมาณสารอาหาร ได้แก่ SRP, NO₃⁻ และ NH₄⁺ ก็ส่งผลถึงจำนวนสปีชีส์สาหร่ายโดยพบว่าหากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง จำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายก็ลดลงตามไปด้วย ส่วนในเรื่องปริมาณของชัลไฟด์นั้นพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนสปีชีส์ของสาหร่าย กล่าวคือถ้าปริมาณชัลไฟด์มาก จำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายจะลดลง และในทางกลับกัน ถ้าปริมาณชัลไฟด์ลดลง จำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น

ปัจจัยอื่น ๆ เช่น กระแสน้ำ กระแสลม และปริมาณแสงก็มีผลต่อการกระจายของสาหร่าย ซึ่ง Sperling (1975); Brock (1978); Stevenson *et al.* (1996) กล่าวว่ากระแสน้ำและกระแสลมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของน้ำ หากกระแสน้ำแรงและมีความเร็วสูงระดับอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งอัตราการเย็นตัวของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิอากาศ ความกว้างของลำธารและปริมาณของน้ำ ซึ่งจุดที่ทำให้อุณหภูมิลดลงเกิดตรงบริเวณจุดที่น้ำสัมผัสกับอากาศ ซึ่งถ้าหากมีกระแสลมเข้ามาช่วยพัดก็สามารถทำให้น้ำเย็นตัวลงได้ง่าย ซึ่ง Brock (1978) สรุปว่าความเร็วของลมมีความสำคัญกว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้โดยอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลไม่ค่อยมีผลต่อความหลากหลายของสาหร่าย เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ จะเป็นตัวกำหนดมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานั้นจะเป็นตัวกำหนดความหลากหลายของสปีชีส์รวมทั้งปริมาณสาหร่าย โดยจะส่งผลให้แต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายแตกต่างกัน

การจัดจำแนกสปีชีส์ของสาหร่ายน้ำพุร้อน

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการจำแนกสปีชีส์ของสาหร่ายน้ำพุร้อน โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแนวทางเดิม (classical approaches) โดยทำการพิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา

วงจรชีวิต การแบ่งเซลล์ ลักษณะที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macroscopical aspects) ซึ่งในบางครั้งยังไม่สามารถจำแนกสปีชีส์ของสาหร่ายบางสปีชีส์ได้ซึ่งก็มีวิธีการศึกษาแนวทางใหม่ (modern approaches) ที่ยังคงทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา รวมทั้งมีการศึกษาถึงโครงสร้างละเอียด (fine structure) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (transmission electron microscope:TEM) ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของของเซลล์จากการเพาะเลี้ยง การศึกษาอนุชีวโมเลกุล (molecular biology) โดยใช้ลำดับยีน 16S rRNA ศึกษาสายพันธุ์กรรม (phylogeny) และศึกษาถึงแผนการการวิวัฒนาการต่าง ๆ (Anagnostidis and Komárek, 1985) ซึ่ง Ward *et al.* (1998) ได้ตั้งสมมติฐานโดยใช้เทคนิค culture-independent 16S rRNA เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และรูปแบบของกลุ่มสาหร่ายและความหลากหลายของกลุ่มสาหร่ายโดยศึกษาการกระจายของลำดับยีน 16S rRNA ที่ตรวจพบซึ่งจะเป็นแนวทางที่ดีในการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายในน้ำพุร้อนต่อไปในอนาคต

ลักษณะของน้ำพุร้อน

จากการศึกษาสภาพแหล่งน้ำพุร้อน ตลอดจนการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำ พบว่าแหล่งน้ำทั้ง 9 แหล่งที่ทำการศึกษาเป็นแบบ alkaline springs ตามการจัดจำแนกของ Fogg *et al.* (1973) โดยแบ่งตามสภาพความเป็นกรดด่าง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมทรัพยากรธรณี (2529); เกียรติศักดิ์และคณะ (2534) ซึ่งได้รายงานว่ น้ำพุร้อนในภาคเหนือมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกันมีค่า pH ค่อนข้างสูง (7-9) ค่า total dissolved solids ต่ำ ค่า salinity ต่ำ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโซเดียม ($80-160 \text{ mg.l}^{-1}$) และไบคาร์บอเนต ($200-500 \text{ mg.l}^{-1}$) ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษาเป็น alkaline sodium-bicarbonate water ซึ่งเกิดจากการละลายชั้นหินปูน calcareous sediments เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็น bicarbonate หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำร้อน ทำให้เปลี่ยนสภาพน้ำเป็น bicarbonate ได้เช่นกัน (Davis and De Wiest, 1966) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำกระแสไฟฟ้า พบว่ามีความสัมพันธ์กันโดย เกียรติศักดิ์และคณะ (2534) ได้รายงานว่ น้ำพุร้อนในเขตภาคเหนือมีปริมาณของแร่ธาตุบางตัวสูงเช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ลิเทียม ฟลูออรีน และซิลิกา ซึ่งสารเหล่านี้หากละลายอยู่ในน้ำมากก็จะทำให้มีค่าการนำไฟฟ้ามากตามไปด้วย เมื่อศึกษาปริมาณซัลไฟด์ในน้ำพบว่าที่อุณหภูมิสูงๆ ปริมาณซัลไฟด์จะสูงตามไปด้วย เนื่องจากการละลายของแร่ธาตุในชั้นหินและการออกซิไดซ์ของจุลินทรีย์พวกไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobe) ทำให้ที่อุณหภูมิสูงปริมาณซัลไฟด์จะสูงตามไปด้วย เมื่ออุณหภูมิลดลงตามระยะทางของน้ำร้อน ปริมาณของซัลไฟด์ลดลง เนื่องจากซัลไฟด์เมื่อถูกอากาศจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลเฟตแทนสำหรับค่า DO จากผลการสำรวจพบว่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ปริมาณ DO จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Brock (1978) ได้รายงานว่าปริมาณ DO จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากผลการศึกษา น้ำพุร้อนบางแหล่ง เช่น น้ำพุร้อนโป่งเดือดพบว่าค่า DO ที่ช่วงอุณหภูมิ 40-49°C มีค่าสูง (DO เท่ากับ 4.8-5.4 mg.l⁻¹) เนื่องจากสภาพจุดเก็บตัวอย่างเป็นน้ำตก น้ำได้สัมผัสกับอากาศทำให้ค่า DO สูงขึ้น และในฤดูฝนค่า DO เพิ่มขึ้นจากน้ำแล้งเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำเย็นที่ไหลมาผสม

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีความพอใจในผลการวิจัยค่อนข้างสูง เพราะสามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในน้ำพุร้อนหลายแห่งที่ศึกษาได้ถึง 8 สปีชีส์ และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้ 1 สปีชีส์ ที่ถือว่าเป็นผลสำเร็จอย่างดีคือสามารถแยกสิ่งมีชีวิตทั้ง 2 สปีชีส์จากน้ำพุร้อนอุณหภูมิ 70°C ซึ่งจะพบไม่บ่อยนักและนอกจากนั้นทุกสปีชีส์ยังเป็น thermotolerant blue-green algae อีกซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ศึกษา bioactive compound ต่าง ๆ, polymer และสารอื่น ๆ อันสามารถนำไปใช้ได้ เป็นอย่างดีในกระบวนการอุตสาหกรรมต่อไป

คณะผู้วิจัยตระหนักดีจากงานวิจัยครั้งนี้ว่า น้ำพุร้อนในประเทศไทยเรามีทรัพยากรที่มีค่ายิ่งไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แบคทีเรียประเภทต่าง ๆ แต่งานวิจัยประเภทนี้ยังน้อยมากสมควรที่จะมีการศึกษาสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ในแหล่งน้ำพุร้อนอื่น ๆ ให้มากขึ้น และไม่จำเป็นต้องจำกัดเฉพาะในภาคเหนือซึ่งรู้กันว่าเป็นแหล่งน้ำพุร้อน แต่ควรกระจายไปยังภาคอื่น ๆ ให้ทั่วประเทศ ซึ่งเราอาจจะได้ strain ของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ที่ดีและแตกต่างกันไปจากที่พบในภาคเหนืออย่างแน่นอน

จากการวินิจฉัยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ศึกษานี้ยังไม่สำเร็จถึง 100 % ยังมีความคลุมเครืออยู่พอสมควร ถึงแม้จะพยายามแล้วในเอกสารที่มีอยู่หรือการใช้ผู้เชี่ยวชาญช่วยวินิจฉัยก็ตาม คาดว่าการใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ทำอยู่อาจจะถึงจุดที่ไม่สามารถคลี่คลายได้แล้ว อาจจะต้องศึกษาทางด้านชีวโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ต่อไปในอนาคตเพื่อการวินิจฉัยสปีชีส์ ของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้อย่างถูกต้อง

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกออกมาได้นี้ควรพยายามนำไปศึกษาในแง่ของการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ (application) ต่ออย่างรวดเร็ว เนื่องจากในปัจจุบันวิทยาการด้านนี้กำลังรุดหน้าไปอย่างรวดเร็วและมีงานตีพิมพ์ (publications) ต่างๆออกมามากมาย สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาต่อได้ เพื่อที่จะได้รับความรู้และเป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้อย่างดี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการคัดแยกและศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในน้ำพุร้อนบางแหล่งในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 ถึงเดือนกันยายน 2543 ใน 9 แหล่ง คือ น้ำพุร้อนสันกำแพง น้ำพุร้อนโป่งเดือด น้ำพุร้อนเทพนม น้ำพุร้อนแม่ฝาง และโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ น้ำพุร้อนแจ้ซ้อน จังหวัดลำปาง น้ำพุร้อนท่าปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โป่งน้ำร้อนแม่จัน และน้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก จังหวัดเชียงราย โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน ยกเว้นน้ำพุร้อนแม่ฝาง และน้ำพุร้อนห้วยหมากเหล็ก เก็บเฉพาะในฤดูฝน แบ่งจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละแหล่งออกเป็น 5 ช่วงอุณหภูมิ คือ 30-39°C, 40-49°C, 50-59°C, 60-69°C และ 70-80°C

นำตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพาะเลี้ยงในอาหาร สูตร BG-11 พบว่าสามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ทั้งหมด 8 สปีชีส์ คือ *Chroococcidiopsis thermalis* Geitler, *Lyngbya limnetica* Lemmermann, *Lyngbya perelegans* Lemmermann, *Mastigocladus laminosus* Cohn, *Phormidium* sp., *Synechococcus bigranulatus* Skuja, *Synechococcus lividus* Copeland และ *Synechococcus* sp. และจากการศึกษาความทนอุณหภูมิในช่วงกว้างโดยการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30, 45, 55 และ 70°C พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 8 สปีชีส์เป็นสาหร่ายที่ทนอุณหภูมิในช่วงกว้าง (thermotolerant blue-green algae)

ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากการคัดแยก โดยการเก็บแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิ 60-80 °C นำมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร PE ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าสามารถแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้ 1 สปีชีส์ คือ *Chloroflexus* sp.

จากการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำพุร้อนดังกล่าวพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด 39 สปีชีส์ จัดอยู่ใน 4 orders คือ Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales และ Stigonematales ซึ่งสปีชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใน Order Chroococcales สาหร่ายที่เป็น dominant species ของทุกแหล่งน้ำ คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.)–Anagn. Et Kom และ *Synechococcus bigranulatus* *Synechococcus lividus* และ *Synechococcus* sp. ซึ่งพบมากในช่วงอุณหภูมิ 55-57 และ 65-72°C ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษานับจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตามช่วงระดับอุณหภูมิพบว่า ในช่วงระดับอุณหภูมิ 40-49 °C มีจำนวนสปีชีส์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุดคือ 38

สปิชีส์ คิดเป็น 36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือช่วง 30-39 °C พบ 36 สปิชีส์ คิดเป็น 34 เปอร์เซ็นต์ ช่วง 50-59 °C พบ 23 สปิชีส์ คิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ ช่วง 60-69 °C พบ 5 สปิชีส์ คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ และช่วง 70-80 °C พบ 3 สปิชีส์ คิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษานี้ทุกแหล่งแบ่งตามคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เป็นแบบ alkaline-bicarbonate spring น้ำพุร้อนเทพนมมีความหลากหลายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากที่สุดโดยพบทั้งหมด 32 สปิชีส์ รองลงมาคือน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน 30 สปิชีส์ น้ำพุร้อนโป่งเดือด 29 สปิชีส์ น้ำพุร้อนสันกำแพง 28 สปิชีส์ น้ำพุร้อนท่าปาย 26 สปิชีส์ น้ำพุร้อนแม่แฝง 25 สปิชีส์ น้ำพุร้อนห้วยหมากเหลี่ยม 23 สปิชีส์ โป่งน้ำร้อนแม่จัน 20 สปิชีส์ และโป่งน้ำร้อนคอยสะเก็ด 19 สปิชีส์ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนสปิชีส์สาหร่ายที่พบตามช่วงอุณหภูมิและทุกฤดูกาลของน้ำพุร้อนแต่ละแหล่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กันโดยพบว่าอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดการกระจายสปิชีส์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนั้นปัจจัยทางกายภาพและเคมีบางประการยังมีความสัมพันธ์กับจำนวนสปิชีส์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิและปริมาณซัลไฟด์ที่พบในน้ำด้วยระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

บรรณานุกรม

- กาญจนา ชาญสง่าเวช, สุทธิรักษ์ นิยมฤทธิ์, ศิริเพ็ญ เวชการักษ์. 2532. การวินิจฉัยชนิดของแบคทีเรียสีน้ำเงินแกมเขียว ประเภทที่เจริญ ณ อุณหภูมิสูงในบ่อน้ำพุร้อนทางภาคเหนือของประเทศไทย. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. โปสเตอร์ B133.
- กาญจนา ชาญสง่าเวช, สุทธิรักษ์ นิยมฤทธิ์. 2535. แบคทีเรียสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญ ณ อุณหภูมิสูง. วารสารวิทยาศาสตร์, 2, 71 – 75.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2529. การสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพทางภาคเหนือของประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์.
- เกียรติศักดิ์ พลสงคราม, พลยุทธ สุขสมิต, เจนศิริ จันทรศิริ, มณฑาทิพย์ รุ่งเรืองศรี, ชูลีพร วิมุกตานนท์, ประเสริฐ พันธชาติ, สิ้นธุ์ สโรบล. 2534. การศึกษาน้ำแร่ในภาคเหนือของประเทศไทย : ประโยชน์และการนำไปใช้. รายงานการวิจัยฉบับที่ 93 สถาบันชีวิตวิทยาและสถาบันวิจัยและพัฒนา.
- ประวิทย์ พิทักษ์วาปี. 2533. นิเวศวิทยาของสาหร่ายบริเวณน้ำพุร้อนบ้านโป่งส้ม อ. สันกำแพง จ. เชียงใหม่. การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ยุวดี พิรพรพิศาล, จมากรณ์ นิवासบุตร. 2542. คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิรัชนิษฐ์ ภูษิตวิทย์. 2534. การศึกษาชนิดและชีววิทยาของสาหร่ายในน้ำพุร้อน อ.เขาชัยสน จ. พัทลุง. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- สระบุรี ไชยมงคล. 2523. จุลินทรีย์ในน้ำพุร้อนโป่งส้ม ตำบลออนหลวย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่. การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- Anagnostidis K., Economou-Amilli A., Makris K. 1988. The morphotypes of *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom. and *Phormidium janthiphorum* (Fior.-Mazz. ex Gom.) Elenk. Arch. Hydrobiol. Suppl., 80(1-4), 71-91.
- Anagnostidis K., Komárek J. 1985. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 1. Introduction. Arch. Hydrobiol. Suppl., 38/39, 291-302.
- Anagnostidis K., Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 3. Oscillatoriales. Arch. Hydrobiol. Suppl., 50/53, 327-472.
- Anagnostidis K., Komárek J. 1990. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 5. Stigonematales. Arch. Hydrobiol. Suppl., 59, 1-73

- APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington DC, American Public Health Association.
- Brock T. D. 1966. Principle of microbial ecology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey.
- Brock T.D. 1978. Thermophilic microorganisms and life at high temperatures. Springer-Verlag New York, United States of America.
- Campbell L.L., Pace B. 1968. Physiology of growth at high temperatures. J. appl. Bact., 31, 24 – 35.
- Castenholz R.W. 1973. Ecology of blue - green algae in hot springs. In Carr, N.G., Whitton, B.A. (eds.), The biology of blue - green algae, New York, Blackwell Scientific Publications.
- Compère P., Delmotte A. 1986. Diatoms in two hot springs in Zambia (Central Africa). 9th Diatom symposium, 29 - 39.
- Davis S.N., De Wiest R. J. M. 1966. Hydrogeology. John Wiley & Sons, Inc. New York.
-
- Desikachary T.U. 1959. Cyanophyta, Indian Council of Agricultural Research. New Delhi.
- Fogg G.E., Stewart W.D.P., Fay P., Walsby A.E. 1973. The Blue-green algae. Academic Press-London and New York.
- Hanada S., Hiraishi A., Shimada K., Matsuura K. 1995. *Chloroflexus aggregans* sp. nov. a phototrophic filamentous bacterium which forms dense aggregates by active gliding movement. Int. J. Syst. Bacteriol. 45, 676-681.
- Hayashi N., Peerapornpisal Y., Nishihara H., Ishii M., Igarashi Y., Komada T. 1994. Isolation and cultivation of thermophilic cyanobacteria from hot springs of Northern Thailand. Journal of Fermentation and Bioengineering, 78(2), 179 - 181.
- Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Staley J.T., Williams S.T. 1994. Bergey 's manual of determinative bacteriology. Williams & Wilkins, Baltimore, USA. 9, 353-376.
- Huber-Pestalozzi G. 1938. Das Phytoplankton des Süßwassers: Blaualgen, Bakterien, Pilze 1. Teil, E. Schweizerbart, sche Verlags Buch Handlung. Stuttgart.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanobacteria 4. Nostocales. Arch. Hydrobiol. Suppl., 56, 247-345.
- Komarek J., Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota : Chroococcales, 1 . Teil, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag Jena.
- Kováčik L. 1988. Cell division in simple coccal cyanophytes. Arch. Hydrobiol. Suppl., 80(1-4), 149-190.
- Leghari S.M., Thebo S.N. 1983 . Cyanophyceae of hot spring at Laki Shah Sadar , Sind Pakistan. Sind Univ. Res. Jour. (Sci. Ser.), 15, 147 – 150.
- Lynnh J. M., Poole N. J. 1979. Extreme environment: microbial ecology: a Conceptual Approach, Halsted Press, New York.
- Miyake J., Miyake M., Asada Y. 1999. Biotechnological hydrogen production : research for efficient light energy conversion. Journal of Biotechnology, 70, 89-101.
- Odum E.A. 1971. Fundamental of ecology. 3rd. ed. W.B. Saundress Company, Philadelphia.

- Pentecost A. 1995. British thermophilic cyanobacteria. Arch. Hydrobiol. Suppl., 132, 404 – 419.
- Pierson B.K., Castenholz R.W. 1974. A phototrophic gliding filamentous bacterium og hot springs, *Chloroflexus aurantiacus*, gen. And sp. Nov. Archives of Microbiology. 100, 5-24.
- Ramingwong T., Ratanasthien B., Wattananikorn K., Tantisukrit C., Lerdthusnee S., Thanasuthipitak T., Pitragool S.1980. Geothermal resources of Northern Thailand: San Kampaeng, Fang and Mae Chan geothermal systems. A Final Report of Chiang Mai. Report Department of Geological Sciences and Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University.
- Round F. E. 1975. The Biology of the algae. Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Sperling J.A. 1975. Algal ecology of Southern Icelandic hot springs in winter. Ecology, 56(1), 183 – 190.
- Staley J.T., Bryant M.P., Pfennig N., Holt J.G. 1989. Bergey 's manual of systematic bacteriology. Williams & Wilkins, Baltimore, USA. 3, 1635-1709.
- Stanier R.Y., Kunisawa R., Mandelk M., Cohen-Bazire G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (Oirder Chroococcales). Bacteriol. Rev. 35,171-205.
- Starr M.P., Stolp H., Trüper H.G., Balows A., Schiegel H.G. 1981. The Prokaryotes: A handbook on habitats, Isolation and identification of bacteria. Springer-Verlag, New York, Vol. I.
- Stevenson R.S., Max L.B., Rex L.L. 1996. Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego California.
- Ward D. M., Ferris M. J., Nold S. C., Bateson M. M. 1998. A Natural view of microbial biodiversity within hot spring cyanobacterial mat communities. Microbiology and Molecular Biology Reviews, Vol.62, No. 4, p. 1353-1370.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



ภาคผนวก ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 12 คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพุร้อนต้นก้านแพง (SKP) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือน

ตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Sulfide ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		SRP ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	7.1	8.2	698	605	267	297	-	-	0.14	0.15	0.31	0.13	1.5	0.3	0.10	0.16	1.4	1.2
40 – 49	7.1	8.1	815	607	320	298	0	0	0.29	0.34	0.17	0.15	0.3	0.7	0.21	0.45	3.5	3.3
50 – 59	8.7	8.2	773	667	318	306	0	0	0.36	0.41	0.25	0.35	4.0	1.4	0.47	0.67	2.1	3.4
60 – 69	9.1	8.8	815	704	313	320	0	0	0.68	0.43	0.22	0.35	5.7	1.5	0.70	0.62	0.4	0.5
70 – 80	8.2	7.0	801	698	291	267	0	0	2.72	1.64	0.13	0.33	7.4	3.2	0.95	1.32	1.2	0.5

ตาราง 13 คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพุร้อนโป่งเดือด (PD) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือน

ตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Sulfide ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		SRP ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	9.0	8.5	480	270	165	105	-	-	-	0.05	0.18	0.54	0.2	0.5	0	0.1	2.0	97
40 – 49	9.5	8.7	485	280	168	107	5.4	4.8	-	0.1	0.29	0.61	0.3	0.5	0	0.21	6.0	108
50 – 59	9.6	9.1	442	345	163	160	0	0	-	0.15	0.16	0.70	0.3	1.1	0	0.3	1.0	2.5
60 – 69	9.4	9.3	436	350	164	169	0	0	-	0.17	0.19	0.99	0.4	1.7	0	0.31	0.5	0.5
70 – 80	9.4	9.1	439	380	172	171	0	0	-	0.45	0.31	1.21	0.5	1.2	0.01	0.28	0.4	0.5

ตาราง 14 คุณภาพน้ำทางด้านการกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพุร้อนเทพนม (TPN) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือน

ตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Sulfide ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		SRP ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	9.0	6.5	550	194	222	55	5.8	5.9	0	0.04	0.41	0.55	0.5	1.1	0.05	0.64	7.0	97
40 – 49	9.0	8.9	552	500	222	219	5.8	4.0	0	0.04	0.38	0.70	0.5	1.3	0.06	0.05	6.3	1.5
50 – 59	9.0	8.9	533	500	222	218	3.2	2.8	0	0.04	0.50	0.70	0.8	1.5	0.07	0.05	0.4	0.5
60 – 69	8.8	8.9	592	503	235	236	3.8	2.0	0.03	0.04	0.39	0.76	0.6	1.7	0.07	0.05	0.5	0.2
70 – 80	8.8	8.5	532	480	222	219	0	0	0.47	0.07	0.32	0.89	3.5	2.4	0.29	0.16	3.1	0.3

ตาราง 15 คุณภาพน้ำทางด้านการกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพุร้อนแม่แฝง (MF) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือน

ตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Sulfide ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		SRP ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Turbidity (TNU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	-	7.0	-	530	-	348	-	-	-	0	-	0.20	-	0.5	-	0.02	-	5.0
40 – 49	-	7.3	-	530	-	350	-	1.2	-	0	-	0.20	-	0.7	-	0.65	-	8.0
50 – 59	-	7.3	-	530	-	346	-	0	-	0.01	-	0.22	-	0.6	-	0.78	-	6.9
60 – 69	-	7.3	-	535	-	355	-	0	-	0.02	-	0.23	-	0.6	-	0.75	-	6.7
70 – 80	-	7.5	-	505	-	410	-	0	-	1.10	-	0.35	-	4.0	-	0.90	-	0.9

ตาราง 16 คุณภาพน้ำทางด้านการกายภาพและเคมีบางประการของโป่งน้ำร้อนดอยสะเก็ด (DSK) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่าง

ตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity (µs.cm ⁻¹)		Alkalinity (mg.l ⁻¹)		DO (mg.l ⁻¹)		Sulfide (mg.l ⁻¹)		SRP (mg.l ⁻¹)		NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)		NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	8.5	7.5	540	527	240	225	1.4	2.2	0	0	0.54	0.12	0.5	0.6	0.02	0.10	1.0	7.0
40 – 49		7.7	543	540	244	250	0	0	0.01	0.01	0.86	0.27	0.6	0.7	0.08	0.17	0.7	1.5
50 – 59		7.8	530	530	233	250	0	0	0.03	0.02	0.76	0.35	0.7	0.7	0.15	0.25	0.7	1.0
60 – 69	8.5	7.8	540	530	240	244	0	0	0.03	0.02	0.92	0.25	0.7	1.1	0.28	0.27	0.5	0.7
70 – 80	8.5	7.6	541	557	246	258	0	0	0.03	0.33	1.27	1.74	0.6	1.4	0.31	1.78	0.4	2.9

ตาราง 17 คุณภาพน้ำทางด้านการกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพุร้อนแจ้ซ้อน (JS) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือนตุลาคม

2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity (µs.cm ⁻¹)		Alkalinity (mg.l ⁻¹)		DO (mg.l ⁻¹)		Sulfide (mg.l ⁻¹)		SRP (mg.l ⁻¹)		NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)		NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	7.5	7.1	340	438	201	201	-	-	0.01	0	1.13	0.20	0.7	0.5	0.26	0.21	10.0	5.0
40 – 49	7.8	7.6	543	576	245	243	2.2	2.8	0.01	0	1.17	0.22	0.8	0.6	0.24	0.32	2.0	2.1
50 – 59	7.8	7.6	510	557	260	251	0	0	0.02	0.01	0.92	0.26	0.5	1.0	0.43	0.44	1.0	5.7
60 – 69	7.8	7.4	517	545	250	245	0	0	0.82	0.02	1.37	0.34	0.7	1.1	0.73	0.64	0.5	0.4
70 – 80	7.7	7.6	523	580	255	262	0	0	1.46	0.33	1.45	0.21	1.9	3.0	1.28	0.82	0.5	1.7

ตาราง 18 คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพรุร้อนท่าปาย (TP) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity (µs.cm ⁻¹)		Alkalinity (mg.l ⁻¹)		DO (mg.l ⁻¹)		Sulfide (mg.l ⁻¹)		SRP (mg.l ⁻¹)		NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)		NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)		Turbidity (TNU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	8.3	8.7	285	309	125	108	-	5.2	0	0.01	0.05	0.50	0.2	0.7	0.07	0.99	7.2	6.2
40 – 49	8.5	8.4	330	365	140	141	1.4	5.0	0.01	0.01	0.17	0.45	0.5	1.2	0.15	0.36	5.0	2.9
50 – 59	8.7	8.7	335	330	138	140	0	0	0.05	0.06	0.30	0.40	0.7	1.2	0.21	0.30	2.5	2.0
60 – 69	8.8	8.7	340	315	140	139	0	0	0.07	0.09	0.35	0.37	0.8	1.2	0.20	0.18	2.0	2.5
70 – 80	8.8	8.8	337	314	139	140	0	0	0.08	0.36	0.35	0.33	0.8	1.4	0.26	0.42	2.0	2.2

ตาราง 19 คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีบางประการของโป่งน้ำร้อนแม่จัน (MJ) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 80 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity (µs.cm ⁻¹)		Alkalinity (mg.l ⁻¹)		DO (mg.l ⁻¹)		Sulfide (mg.l ⁻¹)		SRP (mg.l ⁻¹)		NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)		NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	8.5	8.1	610	600	195	158	-	-	0.01	0	0.17	0.53	0.1	0.4	0.01	0.02	2.5	4.8
40 – 49	8.8	8.4	625	620	205	220	0.6	1.2	0.12	0.01	0.26	1.52	3.4	0.6	0.31	0.21	1.0	1.2
50 – 59	8.7	8.5	630	615	202	215	0	0	0.20	0.07	0.38	1.51	6.7	0.6	0.53	0.37	0.5	1.0
60 – 69	8.7	8.6	620	610	201	217	0	0	0.25	0.09	0.37	1.53	5.1	0.7	0.98	0.58	0.4	0.4
70 – 80	8.7	8.4	630	610	212	208	0	0	0.81	0.18	0.53	1.19	8.4	0.7	1.16	0.57	0.4	0.6

ตาราง 20 คุณภาพน้ำทางด้านการกายภาพและเคมีบางประการของน้ำพร่อนห้วยหมากเตี้ยม (HML) ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 70 °C ในฤดูแล้งและฤดูฝน ระหว่างเดือนตุลาคม 2542 – กันยายน 2543

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	pH		Conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)		Alkalinity ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Sulfide ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		SRP ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NO ₃ ⁻ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		NH ₄ ⁺ ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)		Turbidity (NTU)	
	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง	ฝน
30 – 39	-	8.3	-	450	-	154	-	-	-	0	-	0.85	-	0.5	-	0.02	-	2.5
40 – 49	-	8.5	-	460	-	160	-	5.2	-	0.01	-	0.95	-	0.6	-	0.02	-	1.0
50 – 59	-	8.5	-	460	-	161	-	3.2	-	0.02	-	0.99	-	0.6	-	0.06	-	0.6
60 – 70	-	8.4	-	460	-	161	-	1.3	-	0.02	-	1.01	-	0.6	-	0.08	-	0.5

ตาราง 21 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติสำหรับรายตามระดับช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับฤดูกาลโดยใช้ nonparametric statistic โดยใช้เปรียบเทียบแบบ kruskal wallis test

Kruskal-Wallis Test

Test Statistics^{a,b}

	DRYSKP	WETSKP	DRYPD	WETPD	DRYTPN	WETTPN	WETMP
Chi-Square	10.354	10.469	12.739	14.192	14.642	13.670	10.971
df	4	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.035	.033	.013	.007	.006	.008	.027

Test Statistics^{a,b}

	WETHML	DRYDSK	WETDSK	DRYJS	WETJS	DRYTP	WETTP
Chi-Square	9.161	7.209	9.803	11.898	11.176	11.710	12.128
df	3	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.027	.125	.044	.018	.025	.020	.016

Test Statistics^{a,b}

	DRYMJ	WETMJ
Chi-Square	9.840	7.071
df	4	4
Asymp. Sig.	.043	.132

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Water Temperatures

Median Test

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 22 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติสำหรับรายตามระดับช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับฤดูกาลโดยใช้ nonparametric statistic โดยใช้เปรียบเทียบแบบ mann-witney test

Mann-Whitney Test

Test Statistics^b

	SKP30	SKP40	SKP50	SKP60	SKP70	PD30	PD40
Mann-Whitney U	20.500	14.000	14.500	3.500	2.000	6.500	4.500
Wilcoxon W	48.500	42.000	35.500	9.500	5.000	21.500	25.500
Z	-.072	-1.003	-.565	-.471	.000	-1.261	-1.921
Asymp. Sig. (2-tailed)	.943	.316	.572	.637	1.000	.207	.055
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.945 ^a	.366 ^a	.589 ^a	.700 ^a	1.000 ^a	.222 ^a	.052 ^a

	PD50	PD60	PD70	TPN30	TPN40	TPN50	TPN60
Mann-Whitney U	4.500	2.000	3.000	13.500	3.500	10.500	4.500
Wilcoxon W	19.500	8.000	9.000	28.500	24.500	25.500	10.500
Z	-1.697	-.609	-.745	-.276	-2.124	-.427	.000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.090	.543	.456	.783	.034	.669	1.000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.095 ^a	.800 ^a	.700 ^a	.792 ^a	.030 ^a	.690 ^a	1.000 ^a

	TPN70	DSK30	DSK40	DSK50	DSK60	DSK70	JS30
Mann-Whitney U	2.000	6.000	4.500	2.000	.500	1.000	4.500
Wilcoxon W	5.000	16.000	14.500	8.000	3.500	4.000	14.500
Z	-.609	-.584	-1.023	-1.124	-1.225	-1.000	-1.029
Asymp. Sig. (2-tailed)	.543	.559	.306	.261	.221	.317	.304
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.800 ^a	.686 ^a	.343 ^a	.400 ^a	.333 ^a	.667 ^a	.343 ^a

	JS40	JS50	JS60	JS70	TP30	TP40	TP50
Mann-Whitney U	9.500	5.000	3.500	2.000	3.500	9.000	6.500
Wilcoxon W	19.500	15.000	9.500	5.000	13.500	19.000	16.500
Z	-.125	-.877	-.471	.000	-1.340	-.247	-.436
Asymp. Sig. (2-tailed)	.900	.381	.637	1.000	.180	.805	.663
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.905 ^a	.486 ^a	.700 ^a	1.000 ^a	.200 ^a	.905 ^a	.686 ^a

	TP60	TP70	MJ30	MJ40	MJ50	MJ60	MJ70
Mann-Whitney U	2.000	3.000	5.500	6.000	4.000	1.000	1.500
Wilcoxon W	8.000	9.000	15.500	16.000	10.000	4.000	4.500
Z	-1.291	.000	-1.126	-.988	-.720	-1.000	-.408
Asymp. Sig. (2-tailed)	.197	1.000	.260	.323	.471	.317	.683
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.400 ^a	1.000 ^a	.286 ^a	.413 ^a	.629 ^a	.667 ^a	.667 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Season of sampling

ตาราง 23 การวิเคราะห์ข้อมูลสปีชีส์สาหร่ายตามระดับช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับฤดูกาลโดยหาความสัมพันธ์แบบ correlations

Correlations

Correlations

		Water Temperatures	DRYSKP	WETSKP
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.553**	-.587**
	Sig. (2-tailed)		.006	.002
	N	26	23	25
DRYSKP	Pearson Correlation	-.553**	1.000	.617**
	Sig. (2-tailed)	.006		.002
	N	23	23	23
WETSKP	Pearson Correlation	-.587**	.617**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.002	.002	
	N	25	23	25

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		Water Temperatures	DRYPD	WETPD
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.725**	-.619**
	Sig. (2-tailed)		.000	.002
	N	26	20	22
DRYPD	Pearson Correlation	-.725**	1.000	.468*
	Sig. (2-tailed)	.000		.037
	N	20	20	20
WETPD	Pearson Correlation	-.619**	.468*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.002	.037	
	N	22	20	22

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Water Temperatures	DRYTPN	WETTPN
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.668**	-.661**
	Sig. (2-tailed)		.001	.001
	N	26	20	23
DRYTPN	Pearson Correlation	-.668**	1.000	.445*
	Sig. (2-tailed)	.001		.050
	N	20	20	20
WETTPN	Pearson Correlation	-.661**	.445*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.050	
	N	23	20	23

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Correlations

		Water Temperatures	DRYDSK	WETDSK
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.542*	-.787**
	Sig. (2-tailed)	.	.037	.001
	N	26	15	15
DRYDSK	Pearson Correlation	-.542*	1.000	.635*
	Sig. (2-tailed)	.037	.	.011
	N	15	15	15
WETDSK	Pearson Correlation	-.787**	.635*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.011	.
	N	15	15	15

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		Water Temperatures	DRYJS	WETJS
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.722**	-.838**
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.000
	N	26	18	17
DRYJS	Pearson Correlation	-.722**	1.000	.765**
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.000
	N	18	18	17
WETJS	Pearson Correlation	-.838**	.765**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.
	N	17	17	17

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		Water Temperatures	DRYTP	WETTP
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.658**	-.850**
	Sig. (2-tailed)	.	.003	.000
	N	26	18	18
DRYTP	Pearson Correlation	-.658**	1.000	.602*
	Sig. (2-tailed)	.003	.	.011
	N	18	18	17
WETTP	Pearson Correlation	-.850**	.602*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.011	.
	N	18	17	18

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Water Temperatures	DRYMJ	WETMJ
Water Temperatures	Pearson Correlation	1.000	-.701**	-.709**
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.003
	N	26	18	15
DRYMJ	Pearson Correlation	-.701**	1.000	.500
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.058
	N	18	18	15
WETMJ	Pearson Correlation	-.709**	.500	1.000
	Sig. (2-tailed)	.003	.058	.
	N	15	15	15

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตาราง 24 การวิเคราะห์ข้อมูลทีได้สำหรับ เปรียบเทียบกับปัจจัยทางกายภาพ และเคมีที่ทำการศึกษาโดยหาความสัมพันธ์แบบ correlations analysis

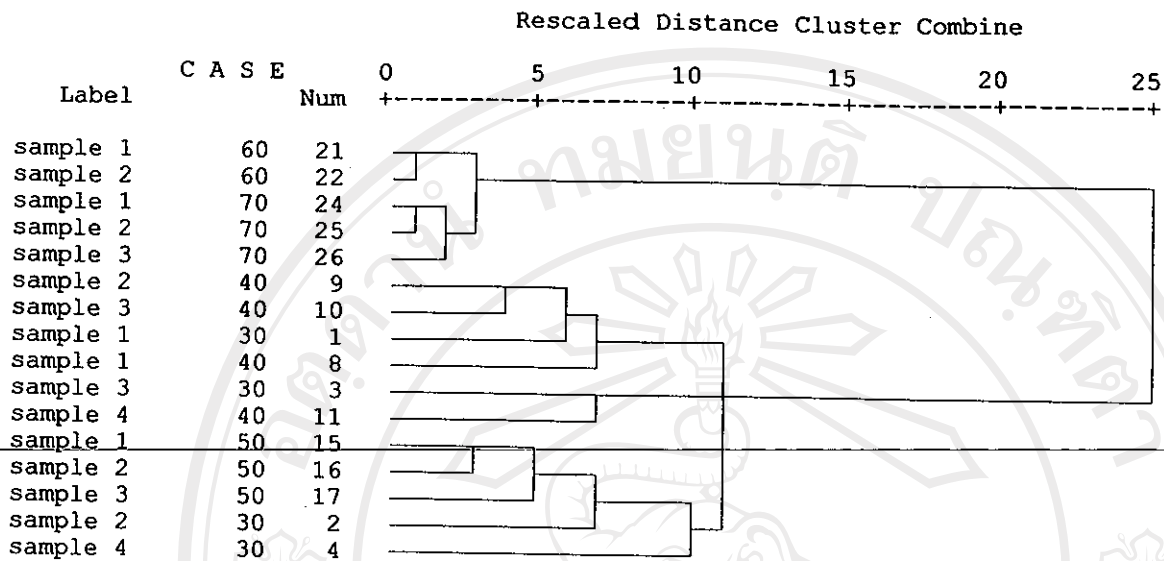
Correlations

	number of algae types	water temperature	water pH	conductivity	alkalinity	DO	SULFIDE	SRP	NO ₃	NH ₄	turbidity
number of algae types	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	1.000 -634** 297	-.083 155 295	.010 .868 295	-.065 .266 295	.460** .000 246	-.302** .000 275	-.229** .000 295	-.305** .000 295	-.319** .000 295	.115* .049 295
water temperature	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	1.000 -634** 297	.227** .000 295	.122* .036 295	.162** .005 295	-.584** .000 246	.475** .000 275	.242** .000 295	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295
water pH	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	-.083 155 295	1.000 -634** 297	-.114* .050 295	-.338** .000 295	.076 .234 246	-.058 .335 275	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295
conductivity	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.010 868 295	.227** .000 295	1.000 -634** 297	.162** .005 295	-.584** .000 246	.475** .000 275	.242** .000 295	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295
alkalinity	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.065 266 295	-.114* .050 295	.122* .036 295	1.000 -634** 297	.162** .005 295	-.584** .000 246	.475** .000 275	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295
DO	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.460** .000 246	.302** .000 275	.229** .000 295	.305** .000 295	.319** .000 295	.115* .049 295	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295
SULFIDE	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.475** .000 275	.067 .255 295	.242** .000 295	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295
SRP	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295	.475** .000 275	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295	.067 .255 295	.091 .121 295
NO ₃	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295	.475** .000 275	.418** .000 295	.435** .000 295
NH ₄	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	.435** .000 295	-.281** .000 295	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295	.475** .000 275	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295
turbidity	Pearson Correlation Sig (2-tailed) N	-.281** .000 295	.067 .255 295	.091 .121 295	-.358** .000 295	-.180** .002 295	.475** .000 275	.418** .000 295	.435** .000 295	-.281** .000 295	.067 .255 295

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

* * * * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * *
Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



ภาพ 27 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติสำหรับรายตามระดับช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับฤดูกาลโดยใช้วิธี
การเปรียบเทียบแบบ cluster analysis



ภาคผนวก ข

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษ GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ cuvette 1 อัน และตวงน้ำ deionized ปริมาตร 25 ml ใส่ใน cuvette อีก 1 อัน
2. เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2000 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องมือจะแสดง Method ให้กด 380 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 425 nm ให้หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 425 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง mg/l NH_3N
3. ใส่ Mineral Stabilizer ลงไปใน cuvette 3 หยด เขย่าเบา ๆ เพื่อให้สารเคมีผสมกันหลังจากนั้นใส่ Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent 3 หยด เขย่าเบา ๆ เพื่อให้สารเคมีผสมกันแล้วตวง Nessler Reagent 1 ml ลงใน cuvette ทั้งสองอันเขย่าให้ผสมกัน กด SHIFT TIMER เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน
4. เปิดฝาเครื่องมือใส่ cuvette ที่เป็นน้ำ deionized ลงไปในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิทแล้วกด ZERO เครื่องมือจะแสดง WAIT และ 0.00 mg/l NH_3N . ให้เปลี่ยน cuvette น้ำตัวอย่างเข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งเครื่องมือสามารถวัดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนได้ในช่วง 0.00-2.50 mg/l NH_3N

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษ GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ cuvette 2 อัน อันแรกใส่ NitraVer 5 Nitrate Powder Pillow อีกอันหนึ่งเอาไว้เปรียบเทียบกับไม่ต้องเติมสารใด ๆ
2. เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2000 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องมือจะแสดง Method ให้กด 355 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 500 nm ให้หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 500 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง mg/l $\text{N NO}_3^- \text{H}$
3. ใส่ NitraVer 5 Nitrate Powder Pillow ลงใน cuvette น้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า cuvette เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนให้หยุดเขย่า กด SHIFT TIMER อีกครั้งและตั้ง cuvette ทั้งไว้เมื่อครบ 5 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนอีกครั้ง และจะแสดง mg/l $\text{N NO}_3^- \text{H}$

4. เปิดฝาเครื่องมือใส่ cuvette ที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท แล้วกด ZERO เครื่องมือแสดง WAIT และ 0.00 mg/l N NO_3^- H ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ NitraVer 5 Nitrate power Pillow เข้าไปกด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณไนเตรท ได้ในช่วง 0.00-3.00 NitraVer 5 Nitrate powder Pillow

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณ Soluble reactive phosphorus (SRP)

1. ก่อนทำการวิเคราะห์ปริมาณ SRP ทุกครั้ง ควรล้างเครื่องแก้วที่จะใช้ด้วย HCL 10 % กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ cuvette 2 อัน อันแรกสำหรับใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow อีกอันหนึ่งเอาไว้เปรียบเทียบกับไม่ต้องเติมสารใดๆ

2. เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2000 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องมือจะแสดง Method ให้กด 490 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 890 nm ให้หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 890 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง mg/l N PO_4^{3-} PV หรือ mg/l P PV

3. ใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow ลงใน cuvette น้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้ กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า cuvette เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

4. เปิดฝาเครื่องมือใส่ cuvette ที่ไม่ได้เติมสารเคมีใด ๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือจะแสดง WAIT และ 0.00 mg/l N PO_4^{3-} PV หรือ mg/l P PV ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Powder Pillow เข้าไป แล้วกด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณ SRP ได้ในช่วง 0.00-2.50 mg/l N PO_4^{3-}

การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษ GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ cuvette 1 อัน และตวงน้ำ deionized ปริมาตร 25 ml ใส่ใน cuvette อีก 1 อัน

2. เปิดเครื่อง Spectrophotometer DR/2000 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้วเครื่องมือจะแสดง Method ให้กด 690 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 665 nm ให้หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 425 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง mg/l NNH_3Ness

2. ใส่ sulfide 1 reagent 1 ml. ลงไปใน cuvette เขย่าเบา ๆ เพื่อให้สารเคมีผสมกันหลังจากนั้นใส่ sulfide 1 reagent 1 ml. เขย่าเบา ๆ เพื่อให้สารเคมีผสมกัน กด SHIFT TIMER เมื่อครบ 5 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

4. ปิดฝาเครื่องมือใส่ cuvette ที่เป็นน้ำ deionized ลงไปในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิทแล้วกด ZERO เครื่องมือจะแสดง WAIT และ 0.000 mg/l S²⁻ ให้เปลี่ยน cuvette น้ำตัวอย่างเข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณซัลไฟด์ ซึ่งเครื่องมือสามารถวัดปริมาณซัลไฟด์ ได้ในช่วง 0.000-0.600 mg/l S²⁻

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (APHA, 1992)

2.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำโดยวิธี Azide modification

- ล้างขวด DO ด้วยน้ำตัวอย่าง (rinse) 2-3 ครั้ง
- เทน้ำตัวอย่างด้วยขวด DO ที่ระดับความลึก 30 cm. โดยไม่ให้มีฟองอากาศและ ปิดฝาขวดให้สนิทขณะอยู่ใต้น้ำ
- เติมสารละลาย MnSO₄ 1 ml (ห้ามเขย่าขวด) และสารละลาย alkali- iodide azide reagent 1 ml ปิดฝา
- เขย่าขวดแล้วตั้งทิ้งไว้จนได้ตะกอน 2 ใน 3 ของสารละลายทั้งหมด เขย่าอีกครั้งและตั้งทิ้งไว้ให้เกิดตะกอน 2 ใน 3 ของสารละลายใหม่
- เติม conc. H₂SO₄ 1 ml ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน
- นำสารละลายจากข้อ 5 มา 100 ml. ไตเตรตด้วย Na₂S₂O₃ 0.021 M จนได้สีเหลืองซีดแล้วเติมน้ำแฉ่ง 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน ไตเตรตต่อไปเรื่อย ๆ ทีละหยด จนสีน้ำเงินจางหายไปจนปริมาตรที่ใช้และนำไปคำนวณในสูตร

$$DO \text{ (mg/l)} = \text{จำนวน ml ของสารละลายมาตรฐาน } 0.021 \text{ M Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 2$$

2.2 วิธีการวิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำโดยวิธี Phenolphthalein methyl orange indicator

- ตวงน้ำ 100 ml. ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml. และน้ำกลั่นปริมาณเท่ากันใน Erlenmeyer flask อีกหนึ่งใบสำหรับทำเป็น blank
- เติม Phenolphthalein indicator 3 หยด ลงใน flask แล้วเขย่าให้เข้ากัน
- ถ้าตัวอย่างเป็นสีชมพูอ่อน ให้ไตเตรตด้วย 0.02 N H₂SO₄ จนสังเกตเห็นสีการเปลี่ยนแปลงจางหายไปและบันทึกปริมาตรที่ใช้
- เติม Methyl orange indicator 3 หยด ลงใน flask

5. ถ้าตัวอย่างเป็นสีเหลืองให้ไตเตรทด้วย $0.02 \text{ N H}_2\text{SO}_4$ จนสังเกตเห็นสีการเปลี่ยนแปลงจาก blank และค่อย ๆ ไตเตรททีละหยดได้ end point เป็นสีเหลืองแดง จดปริมาตรที่ใช้แล้วนำไปคำนวณในสูตร

(methyl orange จะให้สีเหลืองในสารละลายที่เป็นด่าง สีส้มในสารละลายที่เป็นกลาง และสีแดงในสารละลายที่เป็นกรด)

$$\text{Total alkalinity (mg/l as CaCO}_3\text{)} = \text{จำนวนกรดที่ใช้เป็น ml} \times 10$$



ภาคผนวก ค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

อาหารเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

สูตรอาหาร BG - 11 Medium (stanier *et al.*, 1971) ประกอบด้วย

NaNO_3	1.5 กรัม/ลิตร
K_2HPO_4	0.04 กรัม/ลิตร
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.075 กรัม/ลิตร
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.036 กรัม/ลิตร
Citric acid	0.006 กรัม/ลิตร
Ferric ammonium citrate	0.006 กรัม/ลิตร
$\text{Na}_2\text{ - EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.001 กรัม/ลิตร
* Trace – metal mix A ₅	1 มิลลิลิตร / ลิตร

เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร แล้วปรับ pH ให้เท่ากับ 7.4 ด้วย 0.1 N NaOH

* Trace – metal mix A₅ ประกอบด้วย

H_3BO_3	2.86 กรัม/ลิตร
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81 กรัม/ลิตร
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.222 กรัม/ลิตร
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.39 กรัม/ลิตร
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.079 กรัม/ลิตร
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.049 กรัม/ลิตร
น้ำกลั่น	1000 มิลลิลิตร

สูตรอาหาร PE Medium (Hanada *et al.*, 1995)

sodium glutamate	0.5 กรัม/ลิตร
sodium succinate	0.5 กรัม/ลิตร
sodium acetate	0.5 กรัม/ลิตร
yeast extract	0.5 กรัม/ลิตร
casamino acid	0.5 กรัม/ลิตร

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5 กรัม/ลิตร
KH_2PO_4	0.38 กรัม/ลิตร
K_2HPO_4	0.39 กรัม/ลิตร
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.5 กรัม/ลิตร
* vitamin mixtures	1.0 มิลลิลิตร
* basal salt solution	5.0 มิลลิลิตร

เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร แล้วปรับ pH ให้เท่ากับ 7.5 ด้วย 0.1 N NaOH

* vitamin mixtures	ประกอบด้วย
nicotinic acid	0.1 กรัม/ลิตร
thiamine.HCl	0.1 กรัม/ลิตร
biotin	0.005 กรัม/ลิตร
p-aminobenzoic acid	0.05 กรัม/ลิตร
vitamine B12	0.001 กรัม/ลิตร
Ca-pantothenate	0.05 กรัม/ลิตร
pyridoxal.HCl	0.05 กรัม/ลิตร
folic acid	0.05 กรัม/ลิตร
* basal salt solution	ประกอบด้วย
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.11 กรัม/ลิตร
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	24.65 กรัม/ลิตร
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.94 กรัม/ลิตร
NaCl	23.4 กรัม/ลิตร
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.111 กรัม/ลิตร
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.029 กรัม/ลิตร
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.029 กรัม/ลิตร
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025 กรัม/ลิตร
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.024 กรัม/ลิตร
H_3BO_3	0.031 กรัม/ลิตร
Na_2EDTA	4.53 กรัม/ลิตร