รายงานฉบับสมบูรณ์

การติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วและปริมาณไฮโดรคาร์บอนของสาหร่ายผลิตน้ำมัน *Botryococcus braunii* Kützing และสาหร่ายชนิดอื่นๆ ในแหล่งน้ำภาคเหนือ

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พฤษภาคม 2552

RECEIVED
BY [illegible] DATE 26/3/53

รหัสโครงการ **BRT T352009**

รายงานฉบับสมบูรณ์

การติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วและปริมาณไฮโดรคาร์บอนของสาหร่ายผลิตน้ำมัน *Botryococcus braunii* Kützing และสาหร่ายชนิดอื่นๆ ในแหล่งน้ำภาคเหนือ

คณะผู้วิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร. ยุวดี พีรพรพิศาล
2. นางสาวทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์

สนับสนุนโดย
โครงการพัฒนาองค์ความรู้
และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย
(โครงการ BRT)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย รหัสโครงการ T352009

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ยุวดี พีรพรพิศาล และอาจารย์ ดร. ปานมุก วัชระปิยะโสภณ ผู้ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัยตลอดจนตรวจและแก้ไขรายงานเล่มนี้สำเร็จไปด้วยดี

นอกจากการสนับสนุนข้างต้นแล้ว โครงการวิจัยฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้หากขาดสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่ง นั่นคือ สมาชิกห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ทั้งในห้องปฏิบัติการและออกเก็บตัวอย่างภาคสนาม ทำให้รายงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกการสนับสนุนเป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้ทำการวิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตลอดจนผู้ที่สนใจในเรื่องที่ทำวิจัยนี้ ไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ทำการวิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่

ทิพวรรณ ประเสริฐสินธุ์ และยุวดี พีรพรพิศาล ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆในอ่างเก็บน้ำสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ 2 แหล่ง คืออ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 และการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของสาหร่ายชนิดดังกล่าว ในระหว่างเดือนกันยายน 2551 ถึงเดือนสิงหาคม 2552 พบว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการเจริญของสาหร่าย *Botryococcus braunii* มากกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 โดยพบว่ามีการเจริญอย่างรวดเร็วในช่วงต้นฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม ปริมาณสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฟอสเฟต ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์ ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบสาหร่าย *Botryococcus braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆทั้งหมด 7 ดิวิชั่น 49 จีนัส 99 สปีชีส์ ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ส่วนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 พบทั้งหมด 7 ดิวิชั่น 51 จีนัส 90 สปีชีส์ ดิวิชันที่พบความหลากหลายมากสุด คือDivision Chlorophyta รองลงมาคือDivision Bacillariophyta, Division Cyanophyta, Division Euglenophyta, Division Chrysophyta, Division Pyrrhophyta และDivision Cryptophyta ตามลำดับ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมของแหล่งน้ำทั้ง 2 แหล่ง อยู่ในระดับคุณภาพน้ำดีถึงปานกลางเทียบเท่าสารอาหารน้อยถึงปานกลาง และคุณภาพน้ำ ปานกลางเทียบเท่าสารอาหารปานกลาง

ทำการคัดแยกสาหร่าย *B.braunii* แหล่งน้ำบริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ 2 แหล่ง โดยใช้อาหาร 2 สูตร คือ modified Chu 13 และอาหาร CA พบว่าอาหาร CA สามารถ

แยกเชื้อได้ดีที่สุด สาหร่าย *B. braunii* ซึ่งแยกได้จากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และเป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้เร็วสามารถเจริญที่อุณหภูมิ ห้องได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C และเจริญในอาหาร CA ได้ดีกว่าอาหาร modified Chu 13 จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเจริญของสาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในอาหาร CA ที่มีค่า pH เท่ากับ 7.2, 8.0 และ 8.5 พบว่าสาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 และการเพาะเลี้ยง *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 ที่อุณหภูมิห้อง ได้ปริมาณไฮโดรคาร์บอน 21.48 %

Abstract

The monitoring of blooming and hydrocarbon quantities of algal oil producing *Botryococcus braunii* Kützing and other algal species in some water resources of northern areas

Tippawan Prasertsin and Yuwadee Peerapornpisal. Department of biology, Faculty of science,Chiang Mai University.

Monitoring of *Botryococcus braunii* Kützing, and other phytoplankton blooming and the water quality based on physical and chemical parameters were carried out in two reservoirs; Mae Hia 2 and Mae Hia 3, in Mae Hia Agricutural Research Station and Training Center, Amphoe Mueang, Chiang Mai Province throughout September 2008- August 2009. It was found that *B. braunii* in Mae Hia 2 reservoir had higher growth than Mae Hia 3 reservoir. There was significant seasonal change of *B. braunii* population in Mae Hia 2 reservoir. The highest cell count was found in the rainy season throughout May - June. The positive correlation was found between *B. braunii* abundance and phosphate, conductivity, alkalinity, DO and pH and negatively correlated to BOD, nitrate nitrogen and ammonia nitrogen.

The study on the diversity of *B. braunii* and other phytoplankton showed seven divisions, 49 genera and 99 species in Mae Hia 2 reservoir and seven divisions, 51 genera and 90 species in Mae Hia 2 reservoir. The most diverse division was Chlorophyta followed by Bacillariophyta, Cyanophyta, Euglenophyta, Chrysophyta, Pyrrhophyta and Cryptophyta, respectively.

The water quality as assessed by some physical, chemical and biological parameters was found to be clean to moderate and moderate water quality which equal to oligotrophic-mesotrophic status and mesotrophic status.

Isolation of green microalgae *Botryococcus braunii* Kützing was performed from 2 water resources in Mae Hia Agricutural Research Station and Training Center in 2 media: modified Chu 13 medium and CA medium. It was found that CA medium was the best media for isolation. *B. braunii* from water resource of Mae Hia 2 which grew faster than Mae Hia 3 was selected for

detailed study. Growth at room temperature was higher than 25 °C. The alga was grew better in CA medium than modified Chu 13 medium. The effect of pH on growth of the alga was studied using CA medium at the pH 7.2, 8.0 and 8.5 growth at pH 7.2 was higher than others. Cultivation of *B. braunii* with CA medium pH 7.2 at room temperature contained hydrocarbon 21.48 %.

บทสรุปโครงการ

การติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่

สาหร่ายขนาดเล็กเป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากมีการสะสมกรดไขมันหรือไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากภายในเซลล์ โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียว *Botryococcus braunii.* Kützing ซึ่งสาหร่ายสายพันธ์นี้หากมีการนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตเป็นน้ำมันจะเป็นจุลินทรีย์เศรษฐกิจที่มีความสำคัญ อย่างไรก็ตามเรายังขาดความรู้พื้นฐานของสาหร่ายหลายสายพันธุ์ที่แยกได้ในประเทศไทย อาทิเช่น ความต้องการธาตุอาหาร สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญ ซึ่งบางสภาวะสามารถศึกษาได้จากการเพาะเลี้ยง แต่ทั้งนี้การศึกษาคุณภาพน้ำ และปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมที่สาหร่ายกลุ่มนี้เจริญได้ดีในแหล่งน้ำธรรมชาติ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการนำไปออกแบบสภาวะและสูตรอาหารที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงในระบบที่ใหญ่ขึ้นต่อไป

จากการสำรวจเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้พบแหล่งน้ำ 2 แหล่งในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ แหล่งแรกมีสาหร่าย *B. braunii* เจริญเป็นชนิดเด่นและในบางครั้งเมื่อสภาวะเหมาะสมสามารถเห็นการเกิดฝ้า (scum) ของสาหร่ายชนิดนี้บนผิวน้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอีกแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันและมีปัจจัยทางกายภาพที่เหมือนกัน แต่สาหร่าย *B. braunii* กลับไม่ใช่สาหร่ายชนิดเด่น ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะติดตามตรวจสอบการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่ายกลุ่มที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในแหล่งน้ำดังกล่าว โดยการศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญโดยเปรียบเทียบ 2 แหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผลิตน้ำมันในห้องปฏิบัติการ และในระบบการเพาะเลี้ยงที่ใหญ่ขึ้นต่อไป ทำการแยกสาหร่ายที่สามารถผลิตน้ำมันได้ให้บริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นปะปนเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่แยกได้ในห้องปฏิบัติการด้วยสูตรอาหารที่เหมาะสมคล้ายกับธรรมชาติ วิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรคาร์บอนในสาหร่ายแต่ละชนิด

เพื่อหาศักยภาพของชนิดที่อาจนำไปสู่การเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันจากสาหร่ายในอนาคต

ทำการคัดแยกสาหร่าย *B.braunii* แหล่งน้ำบริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ 2 แหล่ง โดยใช้อาหาร 2 สูตร คือ modified Chu 13 และอาหาร CA พบว่าอาหาร CA สามารถแยกเชื้อได้ดีที่สุด สาหร่าย *B. braunii* ซึ่งแยกได้จากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และเป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้เร็วสามารถเจริญที่อุณหภูมิ ห้องได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C และเจริญในอาหาร CA ได้ดีกว่าอาหาร modified Chu 13 จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเจริญของสาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในอาหาร CA ที่มีค่า pH เท่ากับ 7.2, 8.0 และ 8.5 พบว่าสาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 การเพาะเลี้ยง *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 ที่อุณหภูมิห้อง ได้ปริมาณไฮโดรคาร์บอน 21.48 %

Executive Summary

The monitoring of blooming and hydrocarbon quantities of algal oil producing *Botryococcus braunii* Kützing and other algal species in some water resources of northern areas

Microalgae are potential organism for biofuel production because they can accumulate large amount of fatty acid or hydrocarbon in cell especially green algae: *Botryococcus braunii*. If these algae can be cultivated for biofuel production, they will be an important economic organism. However, we are lack some basic knowledge for strains isolated in Thailand, for example, nutrient requirement and cultivation condition. Although some parameters can be studied under laboratory condition, the study of water quality will provide an important basic data for planning of cultivation condition and media selection.

From our previous investigation, we found two ponds in Amphur Muang Chiangmai in which *Botryococcus braunii* Kützing was dominant species.Occasionally, the scum of this alga was noticed in the first pond. In another pond in the same area with similar physical factor *Botryococcus braunii* was not a dominant specie. This project is aimed to monitor the blooming of these potential algae. The water quality based on physical, chemical and biological parameters will also studied to identify growth related factors.These data will be used for cultivation in laboratory and large scale cultivation industry in the future. Axenic culture will be carried out. Cultivated condition in laboratory and analysis of hydrocarbon contents will also be determined for each algae. The results will provide important basic data for planning of large scale industrial cultivation in the future.

Isolation of green microalgae *Botryococcus braunii* Kützing was performed from 2 water resources in Mae Hia Agricutural Research Station and Training Center in 2 media: modified Chu 13 medium and CA medium. It was found that CA medium was the best media for isolation. *B. braunii* from water resource of Mae Hia 2 which grew faster than Mae Hia 3 was selected for detailed study. Growth at room temperature was higher than 25 °C. The alga was grew better in

CA medium than modified Chu 13 medium. The effect of pH on growth of the alga was studied using CA medium at the pH 7.2, 8.0 and 8.5 growth at pH 7.2 was higher than others. Cultivation of *B. braunii* with CA medium pH 7.2 at room temperature contained hydrocarbon 21.48 %.

สารบาญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
บทสรุปโครงการภาษาไทย	ช
บทสรุปโครงการภาษาอังกฤษ	ญ
สารบาญ	ฎ
สารบาญตาราง	ฐ
สารบาญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย	29
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย	58
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	65
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก	75
ภาคผนวก ข	79
ภาคผนวก ค	90
ภาคผนวก ง	105
ภาคผนวก จ	123

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การกระจายของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing ในต่างประเทศ	6
2	การกระจายของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing ในประเทศไทย	7
3	ชนิดและค่าประมาณความมากน้อยของแพลงก์ตอนพืช ในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3	31
4	ผลของ Randomize complete block design ระหว่างอ่างเก็บน้ำ	39
5	ผลของ Randomize complete block design ระหว่างฤดูกาล	39
6	สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ เคมี และ ปริมาณ *B. braunii* ในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3	50
7	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	81
8	การจัดชั้นน้ำตามระดับความมากน้อยของฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจน คลอโรฟิลล์ *เอ* และความลึกที่แสงส่องถึง	83
9	การจัดชั้นน้ำตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร คุณสมบัติน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ และกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่พบเป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ	84
10	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคะแนนมาตรฐาน	86
11	คะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป	89
12	ปริมาณ *Botryococcus braunii* Kützing และจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	91
13	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 1	92
14	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 2	92
15	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 3	93
16	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 4	93
17	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 5	94
18	คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 6	94

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

19 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 7 95
20 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 8 95
21 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 9 96
22 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่10 96
23 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 11 97
24 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 12 97
25 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 13 98
26 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 14 98
27 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 15 99
28 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 16 99
29 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 17 100
30 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 18 100
31 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 29 101
32 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 20 101
33 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 21 102
34 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 22 102
35 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 23 103
36 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 24 103
37 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 25 104
38 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้ Complete randomized design 104
39 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอ่างเก็บน้ำโดยใช้ randomized Complete block design 112
40 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลโดยใช้ randomized Complete block design 117

สารบาญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่พบใน *Botryococcus braunii* Kützing	6
2	อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่	22
3	การเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2	23
4	อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่	24
5	ปริมาณ *Botryococcus braunii* Kützing ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	30
6	แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ2	35
7	เปอร์เซ็นต์ชนิดสาหร่ายที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ2	36
8	ระยะต่างๆของสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ2	36
9	แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ3	37
10	เปอร์เซ็นต์ชนิดสาหร่ายที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ3	38
11	อุณหภูมิน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	42
12	อุณหภูมิอากาศในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	42
13	ค่าความเป็นกรดด่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	43
14	ค่าความเป็นด่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	43
15	ค่าความขุ่นในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	44
16	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	44
17	ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD)ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	45
18	ค่าการนำไฟฟ้าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	45

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
19	ปริมาณ soluble reactive phosphorus ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	46
20	ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	46
21	ปริมาณ แอมโมเนีย ไนโตรเจนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	48
22	ปริมาณ ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	48
23	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีบางประการต่อการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	49
24	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างและคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีบางประการต่อการเจริญของสาหร่าย *B.braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3	51
25	คุณภาพในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่	53
26	การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA (pH 7.2) ที่อุณหภูมิ 25 °C และอุณหภูมิห้อง (RT)	55
27	การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu 13 (pH 6.7) และ CA (pH 7.2) ที่อุณหภูมิห้อง	56
28	การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2, 8.0 และ 8.5ที่อุณหภูมิห้อง	57

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

Botryococcus braunii Kützing เป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กเจริญได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็มและที่สำคัญสาหร่ายชนิดนี้มีการสะสมกรดไขมันและไฮโดรคาร์บอนอยู่ในผนังเซลล์ชั้นนอก(outer cell wall) ในปริมาณสูงถึง 50 – 70 % ของน้ำหนักแห้ง จึงมีแนวโน้มที่จะนำมาผลิตน้ำมันชีวภาพได้ (Metzger and Largeau, 2005) ในปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น อันเนื่องมาจากเชื้อเพลิงจากฟอสซิลลดลงมาก ทำให้มีการเสาะหาพลังงานทดแทน ซึ่งในรูปแบบหนึ่งก็คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าน้ำมันชีวภาพ (bio-oil หรือ biofuel) ซึ่งปัจจุบันสามารถผลิตน้ำมันชีวภาพจากพืชหลายชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง มะพร้าวและปาล์มน้ำมัน แต่การผลิตน้ำมันชีวภาพจากพืชน้ำมันจะต้องใช้พื้นที่เพาะปลูกมาก ใช้เวลานานกว่าจะเก็บเกี่ยวเพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิงทำให้มีต้นทุนในการดูแลสูง พืชที่ถูกนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันชีวภาพในปัจจุบันเป็นพืชที่ใช้เป็นอาหารทั้งสิ้น ถึงแม้การนำพืชเหล่านั้นมาแปรรูปเป็นน้ำมันชีวภาพจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงแต่ทั้งนี้ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัดส่วนของพืชที่ถูกนำไปใช้เป็นอาหาร ส่งผลให้อาหารขาดแคลน และมีราคาสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดสรรวัตถุดิบเพื่อใช้ในการบริโภค

สาหร่าย (algae) เป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งที่มีการรายงานถึงการสะสมปริมาณกรดไขมันในเซลล์สูงจึงมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำมันชีวภาพ นอกจากนี้สาหร่ายยังมีข้อดีคือสามารถเพาะเลี้ยงได้ทุกฤดูกาล ใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อย และใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงไม่นานก็สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อเทียบกับพืชอื่นๆ (Chisti, 2007) จากปัญหาด้านพลังงานที่มีราคาสูงขึ้น จึงได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกอีกแหล่งหนึ่ง โดยเฉพาะสาหร่าย *B. braunii* แต่ว่าสาหร่ายชนิดนี้มีอัตราการเจริญที่ช้าเมื่อทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และมีผู้ศึกษาการเจริญของ *B. braunii* ที่เจริญในธรรมชาติน้อยมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ บางประการเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของ *B. braunii* อย่างแท้จริง เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดมีการเจริญที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในแหล่งที่อยู่ดังนั้นการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่จะมีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่ายชนิดนี้ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงการเพาะเลี้ยง *B. braunii* ได้ต่อไป

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจพบแหล่งน้ำ 2 แหล่งในอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ คืออ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และ อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ซึ่งทั้ง 2 เป็นแหล่งน้ำที่ขุดขึ้นเพื่อใช้น้ำในการเลี้ยงสัตว์ รดน้ำต้นไม้บริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ แหล่งน้ำทั้งสองแหล่งนี้อยู่ในบริเวณใกล้กันมาก มีเพียงถนน 1 สายกั้นตรงกลาง ทำให้มีปัจจัยทางกายภาพแบบเดียวกัน แต่มีเพียงแหล่งน้ำเดียว คืออ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ที่มีการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* จนเห็นเป็นฝ้า (scum) บนผิวน้ำ ดังนั้นในแหล่งน้ำแหล่งนี้น่าจะมีปัจจัยบางอย่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ทำให้มีการเจริญของ *B. braunii* แตกต่างจากอีกแหล่งหนึ่งซึ่งอยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของ *B. braunii* อย่างแท้จริง เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเพาะเลี้ยงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1 เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการที่มีผลต่อการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่

2 เพื่อศึกษาปริมาณของสาหร่าย *B. braunii* และสาหร่ายสายพันธุ์อื่นๆ ที่เจริญในแหล่งน้ำเดียวกันร่วมกับคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ

บทที่ 2
ทบทวนเอกสาร

ความรู้เกี่ยวกับสาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing และการจัดจำแนก

สาหร่าย *B. braunii* พบครั้งแรกกว่า 100 ปีมาแล้ว เป็นสาหร่ายสีเขียวที่สามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณมาก เซลล์มีความยาวประมาณ 6-10 ไมโครเมตร และกว้าง 3-6 ไมโครเมตร รอบนอกมีเมือกหุ้มทำให้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ และทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยน้ำได้ ลักษณะของเซลล์มีลักษณะกลมรี แต่ละเซลล์มีหนึ่งคลอโรพลาสต์ คลอโรพลาสต์มีลักษณะรูปถ้วยหรือ discoid มีไพรีนอยด์รูปถ้วย ลักษณะสำคัญคืออยู่รวมกันเป็นโคโลนีมีสีเขียวน้ำตาลหรือส้ม มีสายไซโตพลาสมิคเชื่อมระหว่างโคโลนี โคโลนีที่ยังไม่เจริญเต็มที่จะผลิตเม็ดแป้งรูปจานและผลิตน้ำมันในปริมาณมาก เพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งเซลล์ตามความยาว (Fritsch, 1927; Blackburn, 1936; Prescott, 1962 อ้างโดย Vongprasert, 1986)

การจัดจำแนกหมวดหมู่

สาหร่าย *Botryococcus braunii* Kützing มีการจัดจำแนกหมวดหมู่หลายแบบ Smith (1950) กล่าวว่าควรจะจัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมทอง แต่ Whitford and Schumacher (1969) และ John *et al.* (2002) จัดให้อยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว

แต่ในที่นี้จะใช้ระบบของ Bold and Wynne (1985) ซึ่งมีการจัดหมู่ของสาหร่ายดังกล่าวดังนี้

Division Chlorophyta

Class Chlorophyceae

Family Oocystaceae

Genus *Botryococcus*

Specie *Botryococcus braunii* Kützing

สาหร่าย *B. braunii* มีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานแหล่งใหม่เนื่องจากสามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณมาก ซึ่งขึ้นกับสายพันธุ์และสภาวะการเจริญ โดยผลิตได้มากถึง 75 % ของน้ำหนักแห้ง (Sawayama *et al.*, 1995) สปีชีส์ที่รู้จักโดยทั่วไป ได้แก่ *Botryococcus braunii* Kützing, *Botryococcus protuberans* W. West & G.S. West และ *Botryococcus terribilis*

Komarek โดยสายพันธุ์ที่นิยมศึกษากันมากที่สุดคือ *B. braunii* ซึ่งสามารถจำแนกตามชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตได้ 3 race (ภาพ 1) คือ

Race A ผลิต C_{23}- C_{33}, n-alkadienes

Race B ผลิต C_{30}-C_{37}, botryococcenes และmethyl squalenes

Race L ผลิต triterpenoid หรือ lycopadiene

Metzger and Largeau (2005) ได้รายงานเกี่ยวกับการสร้างไฮโดรคาร์บอน และลิปิดจากสาหร่าย *B. braunii* ตาม race ต่างๆ ดังนี้

Race A ผลิตไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วย monoenes ถึง tetraenes และเกือบทั้งหมดมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ ซึ่งมีพันธะไม่อิ่มตัวอยู่ที่ตำแหน่งปลาย การสร้างไฮโดรคาร์บอนขึ้นอยู่กับการควบคุมปัจจัยทางพันธุกรรม ไฮโดรคาร์บอนในกลุ่ม dienes มีพันธะไม่อิ่มตัวอยู่ที่กลางโมเลกุลและมีมากในรูป *cis* trienes ที่พบส่วนใหญ่จะมีพันธะไม่อิ่มตัวอยู่อีก 2 ตำแหน่งที่กลางโมเลกุล ขณะที่รูปอื่นๆพบได้ยาก

Race B ผลิตไฮโดรคาร์บอนที่มี C_{30} ถึง C_{37} ส่วนใหญ่เรียกว่า โบไทรโอคอกคีน (botryococcene) ซึ่งพบได้เฉพาะใน race B เท่านั้น เป็น triterpenoids ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทั้ง acyclic และ cyclic botryococcene ที่มี C_{34} ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในปี 1973 ปัจจุบันมีรายงานว่าพบไอโซเมอร์ของ C_{34} ถึง 5 ไอโซเมอร์ และยังมีการพบ botryococcene ที่มี C_{30} และพบว่าสารดังกล่าวเป็นตัวตั้งต้นในการเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นได้ด้วย ซึ่งการผลิตแตกต่างกันตามสายพันธุ์ นอกจากนั้นสายพันธุ์นี้ยังผลิต squalenes และ methyl squalene ที่มี C_{31} ถึง C_{34} ด้วย

Race L ผลิตไฮโดรคาร์บอนที่เป็น tetraterpeniod มีรายงานว่าพบ Trs-trs-lycopadiene เพียงชนิดเดียวเท่านั้นในสายพันธุ์ที่แยกได้จากประเทศไทยและไอโวรี่โคสต์ (Ivary Coast) และยังมีการค้นพบไอโซเมอร์ที่ยังไม่ทราบโครงสร้างจากสาหร่าย 2 สายพันธุ์ที่แยกได้ในประเทศอินเดีย ทำให้ไม่สามารถทราบกระบวนการในการสังเคราะห์ lycopadiene

สาหร่าย *B. braunii* race B เป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กเซลล์เดียวเป็นสายพันธุ์ที่พบมากที่สุดอยู่รวมกันเป็นโคโลนีมีขนาดประมาณ 13 ไมโครเมตร × 7-9 ไมโครเมตร ผลิต polymethlyated unsaturated triterpenes เรียกว่า botryococcenes (C_nH_{2n-10}, n=30-37) โดยในธรรมชาติสาหร่ายสามารถผลิต botryococcene ได้ 27-86% ของน้ำหนักแห้ง (Metzger *et al.*, 1988)

ระยะการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* Kützing race B

ระยะการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* Kützing race B มีระยะการเจริญและสะสมน้ำมัน 3 ระยะ ดังนี้ (Brown and Knights, 1969)

1. ระยะเซลล์เจริญ

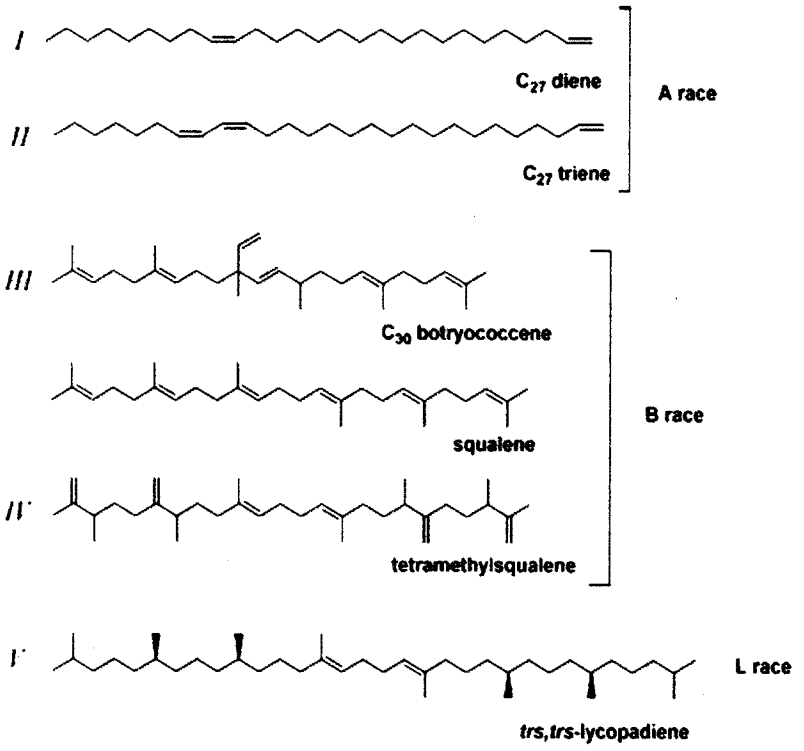
สาหร่าย *B. braunii* Kützing ในระยะเจริญจะมีโคโลนีสีเขียว พบได้ทั้งในธรรมชาติและที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ โดยสาหร่ายที่พบในทุกแหล่งมีลักษณะโคโลนีเหมือนกัน คือโคโลนีสีเขียว มีจำนวนน้อยกว่า 15 เซลล์ บางโคโลนีมีเพียง 2-3 เซลล์ มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน 17-44% ของน้ำหนักแห้ง โดยไฮโดรคาร์บอนที่สกัดได้ประกอบด้วย olefin dienes และ trienes โดยมีคาร์บอนอะตอมเท่ากับ C_{17}-C_{31} และองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ diolefin มีคาร์บอนอะตอม C_{29},C_{31} และ C_{27} (Gelpi and Oro, 1968 อ้างโดย Vongprasert, 1986) ส่วนใหญ่สาหร่ายชนิดนี้สร้างและสะสมไฮโดรคาร์บอนไว้ที่ผนังเซลล์โดยมีปริมาณมากถึง 95% ของไฮโดรคาร์บอนที่สาหร่ายผลิตขึ้น ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่เหลือสาหร่ายเก็บไว้ภายในเซลล์และบริเวณรอบๆเซลล์

2. ระยะพัก

ในธรรมชาติสาหร่าย *B. braunii* ในระยะพักโคโลนีมีสีน้ำตาลหรือส้ม โดยเซลล์สาหร่ายจะประกอบด้วย unusual isomeric triterpenoid botryococcene และisobotryococcene มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{34}H_{58}$ (Maxwell *et al.*, 1968) โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น botryococcene ถึง 31-76% ซึ่งระยะนี้ไม่พบในสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเมื่อสาหร่ายมีอายุมาก จะมีการสะสมคาโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น เซลล์จึงเปลี่ยนเป็นสีแดง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเซลล์ในธรรมชาติที่อยู่ในระยะพัก แต่มีชนิดของไฮโดรคาร์บอนแตกต่างกัน โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ในระยะพักจะสะสมไฮโดรคาร์บอนชนิดเดียวกับสาหร่ายที่มีโคโลนีสีเขียวในระยะเจริญ

3. ระยะเซลล์สีเขียวขนาดใหญ่

ระยะนี้มีลักษณะโคโลนีคล้ายผลหม่อน mulberry ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอม C_{27} และ C_{29} Brown and Knights (1969) เก็บเซลล์สาหร่ายจากเมือง Loch Lomond และ Oakmere ประเทศสหราชอาณาจักร พบว่าเกิดเซลล์ในระยะนี้โดยนำโคโลนีสีน้ำตาลที่อยู่ในระยะพัก มาเลี้ยงในอาหารใหม่ โดยเลี้ยงที่อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ให้แสงและความเข้มแสงคงที่ เซลล์จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวและมีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพ 1 ประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่พบใน *Botryococcus braunii* Kützing (Metzger and Casadevall, 1991)

การกระจายของสาหร่าย *B. braunii*

สาหร่าย *B. braunii* เป็นสาหร่ายที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำนิ่งทั่วโลก พบได้ทั่วไปทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม ทั้งในอ่างเก็บน้ำ สระน้ำขนาดเล็ก (Metzger *et al.*, 1991) (ตาราง 1)และในประเทศไทยพบได้ในจังหวัดต่างๆ ของแต่ละภูมิภาค ทุกฤดูแต่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน (ตาราง 2)

ตาราง 1 การกระจายของสาหร่าย *B. braunii* ในต่างประเทศ

ทวีป	แหล่งที่พบ	ที่มา
นิวซีแลนด์	อ่างเก็บน้ำ	Mitchell (1975)
คาลิฟอร์เนีย	ทะเลสาบ	Wolf *et al.* (1985)
ญี่ปุ่น	ทะเลสาบ	Okada (1995)
ไต้หวัน	ทะเลสาบ	Chiang *et al.* (2004)
อินเดีย	ทะเลสาบ	Dayananda *et al.* (2007)

ตาราง 2 การกระจายตัวของสาหร่าย *B. braunii* ในประเทศไทย

แหล่งที่พบ	คุณภาพน้ำ	ที่มา
เชียงราย	ดี-ปานกลาง, ปานกลาง	Pekkoh (2008)
เชียงใหม่	ปานกลาง	อุดมลักษณ์ (2541), รัฐภูมิ (2545), Pekkoh (2008)
พะเยา	ดี-ปานกลาง ปานกลาง	รัฐภูมิ (2545), Pekkoh (2008)
ลำพูน	ค่าความเป็นกรดสูง และค่าการนำไฟฟ้าสูงมาก	พิษณุ (2552)
ลำปาง	ดี-ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ก), Pekkoh (2008)
นครสวรรค์	ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ข)
อุตรดิตถ์	ดี-ปานกลาง	Pekkoh (2008)
ลพบุรี	ปานกลาง	Pekkoh (2008)
สกลนคร	ดี-ปานกลาง, ปานกลาง	เนติ(2546), กรมควบคุมมลพิษ (2552ก)
อุดรธานี	ดี-ปานกลาง	Pekkoh (2008)
นครราชสีมา	ดี-ปานกลาง, ปานกลาง	นพรัตน์ (2546), กรมควบคุมมลพิษ (2552ก)
ชัยภูมิ	ดี-ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ก)
อำนาจเจริญ	ปานกลาง	Pekkoh (2008)
อุบลราชธานี	ปานกลาง	Pekkoh (2008)
ศรีสะเกษ	ดี-ปานกลาง	Pekkoh (2008)
บุรีรัมย์	ดี-ปานกลาง	Pekkoh (2008)
ชลบุรี	ดี-ปานกลาง, ปานกลาง	ศิริพงษ์ (2546)
ระยอง	ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ข), Pekkoh (2008)
สระแก้ว	ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ข), Pekkoh (2008)
เพชรบุรี	ปานกลาง	กรมควบคุมมลพิษ (2552ข)
ประจวบคีรีขันธ์	ปานกลาง	Pekkoh (2008)
ภูเก็ต	ปานกลาง	Pekkoh (2008)
ยะลา	ดี-ปานกลาง	Ariyadej (2004)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *B. braunii*

แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย คาร์บอนที่สาหร่ายนำไปใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คาร์บอนอนินทรีย์ และคาร์บอนอินทรีย์ โดยสาหร่ายใช้คาร์บอนประเภทอนินทรีย์ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งละลายในน้ำ หรือในรูปของเกลือคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต การที่คาร์บอนจะอยู่ในรูปนั้นขึ้นอยู่กับระดับของค่ากรด-เบส เช่น ถ้าอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนตเมื่อค่ากรด-เบส มีค่าระหว่าง 7-9 อยู่ในรูปของเกลือคาร์บอเนตเมื่อค่ากรด-เบส มีค่าสูงกว่า 9.5 ขึ้นไป คาร์บอนจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดหรือค่ากรดเบสมีค่าประมาณ 5 สาหร่ายจะใช้คาร์บอนประเภทอินทรีย์ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ซึ่งช่วยการเจริญเติบโต เช่นน้ำตาลชนิดต่างๆ (ลัดดา, 2542)

Wolf *et al.* (1985) รายงานว่าสาหร่าย *B. braunii* race B ต้องการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง โดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* Kützing ในอาหารสังเคราะห์ ให้อากาศบริสุทธิ์และอากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 0.3 % พบว่าชุดที่ให้อากาศบริสุทธิ์สาหร่ายมีการเจริญเติบโตช้า มีค่าการเจริญเป็น 2 เท่าใน 6 วัน และสะสม botryococcene สายโซ่ยาว (C_{33}-C_{34}) ในขณะที่ชุดที่ให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 0.3% พบว่ามีการเจริญเติบโตของเร็ว มีค่าการเจริญเป็น 2 เท่าใน 40 ชั่วโมงและสะสม botryococcene สายสั้น (C_{30}-C_{32}) เนื่องจากในชุดทดลองที่ให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะเกิดขั้นตอน methylation ทำให้เกิด C_{30},C_{31} และ C_{32} ได้เร็วกว่า C_{33} และ C_{34}

แหล่งไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการเจริญของสาหร่าย เป็นตัวที่มีบทบาทเกี่ยวกับน้ำหนักแห้งของสาหร่าย โดยมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ สาหร่ายมีปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักแห้ง ในสาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะมีการสร้างสารประกอบคาร์บอน เช่นน้ำมันหรือแป้งมาแทน (ลัดดา, 2542)

สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ อีกทั้งยังใช้ไนโตรเจนในรูปแก๊สได้อีกด้วย ไนโตรเจนในรูปของสารอนินทรีย์ได้แก่เกลือแอมโมเนีย (NH^+_4) ไนเตรท (NO_3) และไนไตรท์ (NO_2) แต่พบว่าอัตราการเติบโตสูงเมื่อใช้ในรูปไนเตรทหรือแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังขึ้นกับชนิดของสาหร่ายด้วย โดยทั่วไปพบว่าสาหร่ายใช้แอมโมเนียหมดก่อนแล้วจึงใช้ไนเตรท สำหรับสาหร่ายบางชนิด สามารถใช้ไนไตรท์ได้แต่จะใช้ได้ในความเข้มข้นต่ำประมาณ 1 mM ที่ความเข้มข้นสูงไนไตรท์มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย ส่วน

การใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจนพบว่าจะทำให้ค่า pH ของอาหารลดลง ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ สาหร่ายบางชนิดมีความไวสูงต่อความเข้มของแอมโมเนีย โดยจะเกิดการยับยั้งการเติบโตที่ความเข้มข้น 1 mM ของแอมโมเนีย (ลัดดา, 2542)

ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ ได้แก่ เอไมด์ เอมีน ยูเรีย และแอสพาราจีน เป็นต้น การใช้ยูเรียให้ผลประโยชน์ใกล้เคียงกับการใช้ไนเตรท และแอมโมเนีย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่าย ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณของรงควัตถุหรือสารสี (pigments) ของเซลล์รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย (Richmond, 1986; ลัดดา, 2542)

Wolf *et al.* (1985) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* Kützing race B ในอาหารสังเคราะห์ โดยให้ไนโตรเจนในรูปโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) เพิ่มปริมาณเป็น 1 และ 3 เท่าของอาหารสังเคราะห์ และไม่ใส่โพแทสเซียมไนเตรทเลย พบว่าไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญของ *B. braunii* โดยอาหารชุดที่ไม่ใส่โพแทสเซียมไนเตรท พบว่าสาหร่ายหยุดการเจริญภายใน 9 วัน และชุดที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรท 3 เท่า พบว่าสาหร่ายมีการเจริญสูงสุดโดยมีน้ำหนักเซลล์แห้ง 3.7 กรัมต่อลิตรหลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน

Vongprasert (1986) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ที่คัดแยกได้จากอ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 และอาหารสังเคราะห์ Kratz and Myers โดยอาหารสังเคราะห์ Kratz and Myers มีปริมาณโพแทสเซียมไนเตรทมากกว่าอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ถึง 40 เท่า พบว่าสาหร่ายเจริญในอาหารสังเคราะห์ Kratz and Myers ได้เร็วกว่าโดยมีค่าการเจริญเป็น 2 เท่า เท่ากับ 0.65 วัน เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 2 วัน ส่วนในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 มีค่าการเจริญเป็น 2 เท่า เท่ากับ 1.75 วัน เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 4 วัน

Lupi *et al.* (1994) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* UC58 ในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % โดยใช้แหล่งไนโตรเจน 3 แหล่งคือโพแทสเซียมไนเตรทความเข้มข้น 2 มิลลิโมล ยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) ความเข้มข้น 2 mM ไนโตรเจนและแอมโมเนียมคาร์บอเนต ($(NH_4)_2CO_3$) ความเข้มข้น 2 mM ไนโตรเจน พบว่าสาหร่าย *B. braunii* UC58 ผลิต exopolysaccharide (EPS) ได้สูงสุดที่ 2.5 $g.l^{-1}$ หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน โดยให้แสงอย่างต่อเนื่องในอาหารที่มีโพแทสเซียมไนเตรท 2 mM เป็นองค์ประกอบ จากนั้นศึกษาต่อโดยทดลองให้โพแทสเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆกันคือ 0.5 mM, 2 mM และ 8 mM ตามลำดับ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 0.5 mM และ 2 mM สาหร่ายเจริญสูงสุดในระยะเวลา 10 วัน แต่ที่ระดับความเข้มข้น 2 mM จะผลิต EPS สูงกว่า ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเตรท 8 mM พบว่าสาหร่ายเจริญสูงสุดในระยะเวลา 15 วัน และผลิต EPS สูงสุดเมื่อ

เลี้ยงเป็นเวลา 35 วัน ดังนั้นการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* โดยให้โพแทสเซียมไนเตรท เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 2 mM จึงเหมาะสมต่อการเจริญและผลิต EPS มากที่สุด

แหล่งฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเติบโต มีบทบาทต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค รวมทั้งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยให้ค่า pH ค่อนข้างคงที่ แม้ว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงกว่าฟอสฟอรัสอนินทรีย์ แต่สาหร่ายต้องการใช้ฟอสฟอรัสอนินทรีย์มากกว่า ฉะนั้นฟอสฟอรัสอินทรีย์จึงจัดว่าเป็นแหล่งเบื้องต้นของสารฟอสฟอรัสซึ่งจะแตกตัวเป็นสารอนินทรีย์ได้แก่ ฟอสฟอรัส และออร์โธฟอสเฟตหรือฟอสเฟต ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือปริมาณโปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์ *เอ* RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม(ลัดดา, 2542)

Casadevall *et al.* (1985) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu 13 โดยให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % โดยอาหารมีปริมาณฟอสเฟตต่างๆกันพบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตปริมาณฟอสเฟตในอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสาหร่ายเก็บไว้ในเซลล์ในรูป polyphosphate granules หลังจากนั้นสาหร่ายจะปล่อยฟอสเฟตออกมาอย่างต่อเนื่องมากกว่า 85 % และจะหยุดปล่อยเมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ และเมื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตเป็น 2 เท่าหรือลดปริมาณฟอสเฟตลง 10 เท่า พบว่าค่าการเจริญเป็น 2 เท่าของสาหร่ายไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีค่าเท่ากับ 2.3 วัน แต่สาหร่ายจะผลิตไฮโดรคาร์บอนได้สูงสุด 33 % ของน้ำหนักแห้ง เมื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตเป็น 2 เท่า แต่ในปีเดียวกัน Wolf *et al.* (1985) รายงานว่าฟอสเฟตไม่มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสังเคราะห์ที่มีฟอสเฟตและไม่มีฟอสเฟตพบว่าในอาหารที่ไม่มีฟอสเฟตสาหร่ายยังมีการเจริญได้ดี

แสง

แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มีความสำคัญในการเลี้ยงสาหร่ายโดยเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์แสง เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นการเติบโตของสาหร่ายจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยจะเพิ่มการสังเคราะห์ด้วยแสงและเร่งการทำงานของเซลล์ (Kosaric *et al.*, 1974 อ้างโดย กรองจันทร์, 2536) แต่ความเข้มแสงที่สูงเกินไปจะมีผลไปยับยั้งการหายใจของเซลล์ ส่วนการเกิดปรากฏการณ์การยับยั้งด้วยแสง (photoinhibition) ขึ้นกับสายพันธุ์ของสาหร่ายและช่วงเวลาได้รับแสง (Richmond, 1986)

Lupi *et al.* (1994) ศึกษาผลของระยะเวลาการให้แสง โดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* UC58 ในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ให้แสงที่ความเข้มข้นแสง 250 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ โดยมีระยะเวลาให้แสงเท่ากับ 14 ชั่วโมงและให้แสงอย่างต่อเนื่อง พบว่าชุดที่ให้แสงอย่างต่อเนื่องสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดที่ให้แสงเป็นช่วง และยังผลิต EPS มากกว่า โดยเมื่อเลี้ยงสาหร่าย 20 วัน พบว่าสาหร่ายผลิต EPS เท่ากับ 5.3 $g.l^{-1}$ สำหรับชุดที่ให้แสงอย่างต่อเนื่อง ส่วนชุดที่ให้แสงเป็นช่วงมีค่าเท่ากับ 3.4 $g.l^{-1}$

Zhang and Kojima (1998) ศึกษาผลของความเข้มแสงในขณะเตรียมเชื้อเริ่มต้นต่อขนาดโคโลนี โดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ระดับความเข้มแสง 3 และ 10 กิโลลักส์ หลังจากนั้นทำการทดลองให้แสง 10 กิโลลักส์ พบว่าในชุดที่ให้แสง 3 กิโลลักส์ โคโลนีเริ่มต้นมีขนาดใหญ่และเล็กลงเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนในชุดที่ให้แสงในเชื้อเริ่มต้น 10 กิโลลักส์ โคโลนีเริ่มต้นมีขนาดเล็กและใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

Kojima and Zhang (1999) ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญของสาหร่ายขณะเตรียมเชื้อเริ่มต้น โดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* race B ในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ระดับความเข้มแสง 3 และ 10 กิโลลักส์ หลังจากนั้นทำการทดลองให้แสง 10 กิโลลักส์ โดยทำการบดบังแสง โดยให้สาหร่ายได้รับแสง 5-100 % ของพื้นที่รับแสงในหลอดทดลอง พบว่าชุดที่ให้แสง 10 กิโลลักส์ และเมื่อทดลองให้สาหร่ายรับแสง 100 % สาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้ง 7 $kg.m^3$ และสาหร่ายผลิตไฮโดรคาร์บอนสูงถึง 50 % ของน้ำหนักแห้ง

ซัลเฟอร์

เป็นธาตุที่จำเป็นต่อสาหร่ายทุกชนิด ซัลเฟอร์ในสาหร่ายมีหลายรูปแบบ เช่น ในรูปกรดอะมิโน วิตามินบี เป็นต้น แต่สาหร่ายส่วนใหญ่ใช้อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ ซัลเฟต ซัลไฟท์ และซัลไฟด์ (ลัดดา, 2542)

การทดสอบผลของไบซัลไฟท์และซัลไฟท์ ต่อการเจริญของ *B. braunii* โดยเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ modified Chu 13 ความเข้มข้น 2 เท่า pH 5.5 อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ความเข้มแสง 25 mW/cm^2 ความเข้มข้นของไบซัลไฟท์ไม่มีผลต่อการเจริญ และซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากการ oxidation ของไบซัลไฟท์ ถูกใช้เป็นแหล่งของซัลเฟอร์เพื่อการเจริญ แต่ไบซัลไฟท์จะเป็นพิษเมื่อความเข้มข้นเกิน 1 mW/cm^2 โครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตจาก *B. braunii* ไม่มีผลเมื่อเปลี่ยนแหล่งของซัลเฟอร์ การให้ซัลไฟท์ให้ผลเช่นเดียวกับไบซัลไฟท์ในอาหารที่เพาะเลี้ยงแต่ซัลไฟท์มีความเป็นพิษน้อยกว่า (Yang *et al.*, 2004)

ความสำคัญและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ

โดยปรกติน้ำในธรรมชาติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยมีสารเจือปนอยู่ในน้ำมากน้อยแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำนั้น (ไพฑูรย์, 2539) ดังนั้นคุณภาพน้ำหรือลักษณะที่สำคัญของน้ำก็เปลี่ยนไปตามผู้ใช้น้ำ (วิจิตรและคณะ, 2533) การตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยทั่วไปมี 3 ทาง ด้วยกัน คือ ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

การตรวจวัดทางกายภาพจะเป็นการหาข้อมูลเบื้องต้น โดยใช้ประสาทสัมผัสภายนอกในการพิจารณา เช่น ลักษณะความใส กลิ่น รส ในการเลือกแหล่งน้ำบริโภค (กรมอนามัย, 2537) ส่วนทางด้านเคมี เช่น ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (BOD) ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง เป็นต้น และทางด้านชีวภาพ เช่น ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย หรือการนำสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ (ยุวดี, 2549)

ปัจจัยทางด้านกายภาพที่นำมาใช้พิจารณาคุณภาพน้ำ ได้แก่ **อุณหภูมิ (temperature)** มีความสำคัญในการศึกษาทางนิเวศวิทยาแหล่งน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการต่างๆในแหล่งน้ำทั้งในเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำ และการละลายของธาตุและแก๊สในน้ำ คือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลง และอุณหภูมิของแหล่งน้ำยังมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์และการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิต (เปี่ยมศักดิ์, 2538) ในแต่ละแหล่งน้ำอุณหภูมิมักขึ้นอยู่กับพิกัดทางภูมิศาสตร์และฤดูกาลตามธรรมชาติ (นันทนา, 2544) อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความเข้มของ**แสง (light)** โดยตรง ถ้าปริมาณความเข้มของแสงมากเมื่อแสงส่องผ่านลงไปในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน มีผลทำให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้น (วิจิตรและคณะ, 2533) แสงนับว่าเป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มแสง คือ **ฤดูกาล (season)** โดยฤดูกาลจะมีผลทำให้ลักษณะสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ในฤดูร้อนจะมีแสงแรงตลอดวัน ทำให้แสงที่ตกลงสู่แหล่งน้ำมาก ในทางตรงกันข้ามฤดูฝนท้องฟ้ามีเมฆบังทำให้ปริมาณแสงน้อย นอกจากนี้**ค่าความขุ่น (turbidity** เกิดจากสารแขวนลอยไม่ว่าจะเป็นสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์เช่น ดิน อนุภาคของคาร์บอเนต สิ่งมีชีวิตเล็กๆ แพลงก์ตอน ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีผลทำให้แสงส่องผ่านลงในแหล่งน้ำลดลง (Wetzel, 2001) ซึ่งแหล่งน้ำผิวดินจะมีค่าสูงและแปรปรวนไปตามฤดูกาลโดยมีค่าสูงสุดในฤดูฝนและต่ำในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว (มั่นสินและมั่นรักษ์, 2545)

ปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อคุณภาพน้ำได้แก่ **ความเป็นกรดด่าง (pH)** เป็นค่าที่ใช้แสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนในน้ำ น้ำในธรรมชาติจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 4-9 ซึ่งส่วนมากจะมีค่ามากกว่า 7

เนื่องจากในน้ำมีปริมาณอิอออนพวกไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งค่า pH ช่วงที่เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6-8 (นันทนา, 2544) นอกจากนี้กรมอนามัย (2534) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพน้ำบริโภคในชนบทไว้ว่า ค่า pH ของน้ำควรอยู่ในช่วง 6.5-8.5 ในที่นี้ยกเว้นน้ำฝนซึ่งต้องมี pH ไม่ต่ำกว่า 5.6 Precott (1970) แบ่งสภาพของแหล่งน้ำออกเป็น 2 ลักษณะตามสภาพของ pH คือแหล่งน้ำอ่อน เป็นแหล่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 และแหล่งน้ำกระด้าง เป็นแหล่งน้ำที่มี pH 7.1-9.8 ค่า pH ของน้ำมีส่วนควบคุมกิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ถ้า pH ของน้ำน้อยกว่า 5 หรือมากกว่า 9 สิ่งมีชีวิตในน้ำจะได้รับอันตราย ค่า pH มักจะได้รับการพิจารณาควบคู่กับ**ค่าความเป็นด่าง (alkalinity)** ซึ่งค่าความเป็นด่างของน้ำนี้หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับโปรตอนหรือไฮโดรเจนอิออน (H^+) หรือความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรดจน pH เป็นกลาง ความเป็นด่างของน้ำตามธรรมชาติมีสาเหตุใหญ่ๆมาจากองค์ประกอบของอิออน 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ (OH) คาร์บอเนต (CO^{2-}_3) ไบคาร์บอเนต (HCO^{3-}) (เปี่ยมศักดิ์, 2538) ความเป็นด่างมีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยควบคุมความเป็นกรดด่างของแหล่งน้ำที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและปรับสภาพน้ำให้มีความเป็นกลางมากที่สุด (Goldman and Horne, 1983) โดยทั่วไปจะพบว่าค่าความเป็นด่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 10-200 $mg.l^{-1}$ (นันทนา, 2544) สารที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ เราสามารถคาดคะเนความมากน้อยของสารเหล่านี้ได้จากการวัด**ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)** เนื่องจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นค่าที่สามารถแสดงถึงปริมาณอิออนที่ละลายในน้ำ (Greenberg *et al.*, 1992) ค่าการนำไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำและอุณหภูมิ (กรรณิการ์, 2525) ถ้าน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ละลายอยู่มาก แม้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่สามารถบอกให้ทราบถึงชนิดของสารที่อยู่ในน้ำ แต่จะสามารถบอกได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็แสดงว่าสารในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าสารในน้ำลดลง (Greenberg *et al.*, 1992) ณรงค์ (2525) กล่าวว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพน้ำดีจะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150-300 $\mu s.cm^{-1}$ ถ้ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า 300 $\mu s.cm^{-1}$ แสดงว่าแหล่งน้ำมีมลพิษ ในแหล่งน้ำธรรมชาติบางแห่งที่มีต้นน้ำมาจากเทือกเขาที่เป็นหินปูนก็จะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเช่นกันแม้จะไม่มีการปนเปื้อนก็ตาม

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen:DO) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญซึ่งบอกให้ทราบว่าแหล่งน้ำนั้นมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำมากน้อยเพียงใด ถ้ามีค่า DO ในแหล่งน้ำนั้นมากแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการดำรงชีพ

ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2543) โดยทั่วไปออกซิเจนจะละลายในน้ำที่มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วได้ดีกว่าน้ำที่นิ่งหรือไหลช้ากว่า (บัญญัติ, 2533) นอกจากนี้ความเข้มข้นของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศและความเข้มข้นของอิออนต่างๆในน้ำอีกด้วย (Wetzel, 2001) เมื่ออุณหภูมิต่ำออกซิเจนจะละลายน้ำได้มากขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง (วิจิตรและคณะ, 2533) โดยทั่วไปแหล่งน้ำในธรรมชาติที่มีคุณภาพน้ำดีมักมีค่า DO อยู่ระหว่าง 5-7 $mg.l^{-1}$ และถ้า DO ต่ำกว่า 3 $mg.l^{-1}$ จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (นันทนา, 2544) และการละลายได้น้อยลงของออกซิเจนเป็นสาเหตุสำคัญที่จำกัดความสามารถในการที่จะฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ของน้ำธรรมชาติอีกประการหนึ่ง (สายสุนีย์และคณะ, 2539) **ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (biochemical oxygen demand: BOD)** ค่า BOD เป็นค่าความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ในน้ำหรือใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารภายใต้ภาวะที่มีอากาศ (aerobic condition) (กรมอนามัย, 2537) โดยทั่วไปหากแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์แบคทีเรียก็จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ดังนั้นยิ่งมีสารอินทรีย์ในน้ำมากขึ้นเท่าใด ออกซิเจนในน้ำก็จะถูกแบคทีเรียใช้ไปมากเท่านั้น ค่า BOD สามารถใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำทิ้งและน้ำในแม่น้ำลำคลองได้ คือ ถ้าค่า BOD มากกว่า 10 $mg.l^{-1}$ ถือว่าน้ำนั้นเป็นน้ำเสีย และจากพระราชบัญญัติน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 $mg.l^{-1}$ ในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมีค่า BOD ไม่เกิน 6 $mg.l^{-1}$ (กรมอนามัย, 2520)

ปริมาณสารอาหาร (nutrients) ที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระบบนิเวศทางน้ำที่สำคัญ ได้แก่สารประกอบไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัส โดยสารอาหารที่จะกล่าวถึงอันดับแรกคือ **สารประกอบไนโตรเจน**ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำเช่นเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ไขมันบางชนิดและอื่นๆ (กรมอนามัย, 2537) ไนโตรเจนในน้ำมี 4 รูปแบบคือ ไนโตรเจนอินทรีย์ (organic nitrogen) แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) ไนเตรทไนโตรเจน (nitrate nitrogen) ไนไตรท์ ไนโตรเจน (nitrite nitrogen) (มั่นสินและมั่นรักษ์, 2545) กรมอนามัย (2534) กล่าวถึงเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพน้ำบริโภคของชนบทไว้ว่า ปริมาณไนเตรทที่พบไม่ควรเกิน 10 $mg.l^{-1}$ แต่ถ้าน้ำมีไนเตรทไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยและไม่มีไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียเลย จัดเป็นน้ำที่มีคุณภาพดี ซึ่งไนเตรทไนโตรเจนเป็นรูปที่มีความสำคัญต่อความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ เพราะพืชน้ำและสาหร่ายสามารถนำไนเตรทไปใช้ในกระบวนการสร้างอาหารได้ ดังนั้นสารประกอบไนโตรเจนจึงถือได้ว่าเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) อย่างหนึ่ง

ของความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (วิไลลักษณ์, 2542) โดยปรกติในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบปริมาณไนเตรทไนโตรเจนไม่เกิน 10 $mg.l^{-1}$ ถ้าความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนมากกว่า 20 $mg.l^{-1}$ จะเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (นันทนา, 2544) และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537) กำหนดปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในแหล่งน้ำผิวดินไม่เกิน 5 $mg.l^{-1}$ นอกจากสารประกอบไนโตรเจนแล้ว **แอมโมเนียไนโตรเจน** สามารถละลายน้ำได้ดีและมักจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรท ไนโตรเจนในที่สุด คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537) กำหนดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนกำหนดให้ไม่เกิน 0.5 $mg.l^{-1}$ อย่างไรก็ตามมักพบแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในธรรมชาติในปริมาณที่น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำสูงจะเกิดพิษกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ (Goldman and Horne, 1983)

ฟอสฟอรัส (phosphorus) เป็นสารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากในกระบวนการเมแทบอลิซึมในสิ่งมีชีวิตต่างๆซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงาน เป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA ในสิ่งมีชีวิต (ลัดดา, 2542) จึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากธาตุหนึ่งในระบบนิเวศ แต่เนื่องจากธาตุนี้มีอยู่น้อยมากในธรรมชาติจึงจัดได้ว่าเป็นปัจจัยจำกัดต่ออัตราผลผลิตทางชีวภาพ ฟอสเฟตในน้ำมี 3 ชนิดคือ ออร์โธฟอสเฟตหรือ soluble reactive phosphorus โพลีฟอสเฟต และฟอสเฟตอินทรีย์หรือคอนเดนซ์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจอยู่ในรูปละลายน้ำหรืออยู่ในรูปซากพืชซากสัตว์ และเข้ามาปะปนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน ส่วนใหญ่เนื่องมาจากผงซักฟอกในรูป polyphosphate ในระบบประปามักมีการเติมฟอสเฟตเพื่อป้องกันการตกตะกอนของ $CaCO_3$ (สุภาพร, 2541) ในทางเกษตรมักใช้ปุ๋ยจำพวกฟอสเฟตในรูปของออร์โธฟอสเฟต เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช เมื่อฝนตกลงมาฟอสเฟตส่วนเกินก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้ เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมีมากจะทำให้พืชน้ำและสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วปกคลุมผิวน้ำหรือเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ทำให้ออกซิเจนละลายลงได้น้อยประกอบกับการแย่งใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตและการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ตายลงทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำและเกิดการเน่าเสียของน้ำในที่สุด มีรายงานว่าความเข้มข้นของ soluble reactive phosphorus (orthophosphate) ต่ำถึง 0.005 $mg.l^{-1}$ ก็อาจสามารถทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันได้ และโดยปรกติแหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.05-0.1 $mg.l^{-1}$ หรือมากกว่าถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีโอกาสเกิดยูโทรฟิเคชันได้ (มั่นสินและมั่นรักษ์ , 2545)

คลอโรฟิลล์ *เอ* (chlorophyll *a*) แพลงก์ตอนพืช ทุกชนิดมีคลอโรฟิลล์ *เอ* เป็นส่วนประกอบ ในการวัดหาค่าคลอโรฟิลล์ *เอ* จึงสามารถหาความสัมพันธ์ของปริมาณแพลงก์ตอนพืช ในเชิงของมวลชีวภาพ (standing crop) ได้ แพลงก์ตอนพืชบางชนิดมีคลอโรฟิลล์ *บี* และ *ซี*

เป็นองค์ประกอบเสริม ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* จะแปรผันตามชนิดสภาพแวดล้อมและปัจจัยทางด้านสารอาหารในแหล่งน้ำนั้นๆ แต่การประเมินค่ามวลชีวภาพ (biomass) จากวิธีการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ *เอ* จะให้ผลไม่ค่อยแม่นยำนัก ในกรณีที่มีการสูญเสียแมกนีเซียมจากโครงสร้างวงแหวนของคลอโรฟิลล์ และทำให้เกิด pheaophytin ซึ่งดูดซับแสงได้ที่ความยาวคลื่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ *เอ* แต่ผลการวิเคราะห์นี้สามารถละเลยได้ถ้าแพลงก์ตอนพืชในขณะนั้นกำลังอยู่ในช่วงอุดมสมบูรณ์ ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* นี้จะชี้ให้ทราบถึงลักษณะอายุและโครงสร้างของกลุ่มแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด คุณสมบัติของมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งอัตราสังเคราะห์แสง (นันทนา, 2544) คลอโรฟิลล์ *เอ* เป็นรงควัตถุในพืชที่มีการสังเคราะห์แสง ส่วนในอนุภาคอลลอยด์ต่างๆรวมทั้งแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ที่ตายแล้วจะไม่มีคลอโรฟิลล์ *เอ* อยู่ จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนประเมินการผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างขึ้นกับสปีชีส์และสภาพแวดล้อม (สมใจ, 2532) ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ที่พบในแพลงก์ตอนพืชมีปริมาณ 0.5-1.5 $mg.l^{-1}$ ของน้ำหนักแห้ง และยังเป็นรงควัตถุที่พบมากที่สุดในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นจึงนิยมใช้คลอโรฟิลล์ *เอ* เป็นตัววัดมาตรฐานที่จะชี้ให้เห็นถึงกำลังผลิตของแหล่งน้ำ (ลัดดา, 2542)

การใช้สาหร่ายเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ

ในระบบนิเวศทางน้ำ สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กแต่มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นในระบบนิเวศที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร โดยเป็นอาหารสำหรับตัวอ่อนของแมลง ลูกกุ้ง ลูกปลาจนกระทั่งปลาที่โตเต็มที่แล้ว นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงมาเป็นพลังงานเคมีในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ได้ผลผลิตเป็นออกซิเจนให้กับสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งหมด การใช้สาหร่ายติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้นสามารถทำได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากสาหร่ายแต่ละชนิดสามารถเจริญในสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างกัน จึงใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพน้ำได้ด้วย (ยุวดี, 2548; Hegewald, 1978) มีการรายงานมากมายที่กล่าวถึงความสามารถของการใช้สาหร่ายบ่งชี้คุณภาพน้ำซึ่งเกิดจากผลกระทบทั้งหลายที่มีสาเหตุมาจากมนุษย์ (Whitton *et al.*, 1991) ประโยชน์จากการใช้สาหร่ายในการประเมินคุณภาพน้ำแม่น้ำและลำธาร ร่วมกับคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมีจะทำให้การประเมินสมบูรณ์และใกล้เคียงความเป็นจริง (Almeida *et al.*, 1999 อ้างโดย ธนิศรา, 2549)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ *B. braunii* Kützing

สาหร่าย *B. braunii* พบได้ทั่วไปทั้งใน น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม ทั้งในอ่างเก็บน้ำ และสระน้ำ ขนาดเล็ก (Metzger *et al.*, 1988) สาหร่ายชนิดนี้ที่พบทั่วโลกนั้นเป็นชนิดเดียวกัน โดยพบได้ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา (Wolf *et al.*, 1985) และยังพบในประเทศโปรตุเกต โบลิเวีย ฝรั่งเศส ชายฝั่งไอวอรี่ โมรอคโค ฟิลิปปินส์ ไทยและอินเดียใต้ (Metzger *et al.*, 1988) ซึ่งแหล่งที่พบสาหร่ายชนิดนี้ล้วนมีความแตกต่างกันทั้งในด้านสภาวะอากาศและอุณหภูมิ การเจริญของ *B. braunii* ขึ้นอยู่กับระดับสารอาหาร โดยเฉพาะฟอสเฟต โดยถ้าปริมาณฟอสเฟตสูงทำให้พบสาหร่ายชนิดนี้มากเช่นกัน และพบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีที่ pH 7.5 และที่ความเค็มต่ำๆ (Wake and Hillen, 1979) จากการศึกษาการเจริญของสาหร่ายชนิดนี้ในประเทศออสเตรเลียพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายชนิดนี้คือ 23 °C และยังสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 33 °C (Qin, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในคุณภาพน้ำปานกลางจนถึงค่อนข้างไม่ดี พบทั้งในเขตอบอุ่นและในเขตร้อน (Komarek and Marvan, 1992) ในปี 2004 Chiang *et al.* ทำการศึกษาการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* ในทะเลสาบ Liyu ของประเทศไต้หวันพบสาหร่ายชนิดนี้เจริญได้ดีในคุณภาพน้ำที่มีสารอาหารสูง และในปี 2004 Ariyadej *et al.* ได้ทำการศึกษาการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำบางลาง จังหวัดยะลาของประเทศไทย พบว่าเมื่อปริมาณสารอาหาร ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นด่างสูงทำให้พบการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่ายชนิดนี้สูงตามไปด้วย ต่อมาในปี 2008 Papa *et al.* ทำการศึกษาการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* รวมถึงมีการศึกษาปัจจัยทางกายภายและทางเคมีของน้ำร่วมด้วย เช่น วัดความลึกที่แสงส่องถึง อุณหภูมิน้ำ pH และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในทะเลสาบ Paoay ของประเทศฟิลิปปินส์ ทำการศึกษาทั้งหมด 4 จุดเก็บตัวอย่าง โดยทำการศึกษาตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนปี ค.ศ. 2006 และพบการเจริญของสาหร่ายชนิดนี้มีความแตกต่างกันในแต่ละเดือน โดยเดือนพฤษภาคมมีความหนาแน่นของโคโลนีต่อลิตรน้อยที่สุดและในเดือนกรกฎาคมมีความหนาแน่นของปริมาณโคโลนีต่อลิตรมากที่สุด และยังพบว่าเมื่อเกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่ายชนิดนี้ ส่งผลให้ปริมาณ แพลงก์ตอนสัตว์บางชนิดลดลงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อสาหร่ายชนิดนี้เจริญมากๆส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงด้วย ลักษณะของสาหร่ายชนิดนี้เมื่อมีการเจริญเป็นฝ้าจะมองเห็นเป็นสีสนิมและลอยขึ้นปกคลุมผิวหน้าน้ำ ทำให้แสงส่องลงสู่พื้นท้องน้ำได้น้อยลง (Metzger *et al.*, 1988; Qin, 2005) ในปี 2552 พิษณุ ทำการศึกษาความหลากหลายและการกระจายตัวในแนวดิ่งของแพลงก์ตอนที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ จังหวัดลำพูน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2551-มิถุนายน 2552 พบว่าสาหร่าย *B. braunii* เจริญเป็นชนิดเด่นในเดือนกรกฎาคม 2551 ซึ่งอ่างเก็บน้ำนี้มีลักษณะพิเศษคือมี

ค่าความเป็นกรดสูงและค่าการนำไฟฟ้าสูงมาก นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสาหร่าย *B. braunii* เป็นสาหร่ายชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ซึ่งสามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ (Ranga Rao *et al.*, 2007) แต่อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่าสาหร่ายชนิดนี้มีพิษต่อปลาและแพลงก์ตอนสัตว์บางชนิด ระหว่างการเจริญอย่างรวดเร็ว (blooming) (Chiang *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2006)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์

1.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างภาคสนาม

1.1.1 ขวดโพลีเอธิลีนเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 500 ลิตร

1.1.2 ขวด DO

1.1.3 ขวด BOD

1.1.4 ขวดสีชา ขนาด 100 มิลลิลิตร

1.1.5 ตาข่ายแพลงก์ตอนขนาดความถี่ 10 ไมโครเมตร

1.1.6 ถังน้ำขนาด 10 ลิตร

1.2 อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีภาคสนาม

1.2.1 เครื่องตรวจคุณภาพน้ำภาคสนาม

1.2.2 เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำ และอากาศ

1.2.3 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ได้แก่

- แมงกานีสซัลเฟต (manganese sulphate)
- อัลคาไลด์ ไอโอได เอไซด์ (alkaline iodide azide)
- กรดซัลฟูริค (sulfuric acid)
- น้ำแป้ง
- โซเดียมไธโอซัลเฟต (sodium thiosulphate) 0.025 N พร้อมชุดไตเตรท

1.2.4 เครื่อง multimeter รุ่น 340i/SET บริษัท WTW สำหรับวัด ค่าการนำไฟฟ้า และค่า pH

1.3 อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1.3.1 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์สารอาหาร

- spectrophotometer รุ่นDR 2010 ของบริษัท Hach
- สารเคมีสำหรับตรวจวัดปริมาณไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และ soluble reactive phosphorus (SRP)

1.3.2 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์หาค่าความเป็นด่าง

- สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ฟีนอฟทาลีน (phenophthalene) เมธิลออร์เรน (methyl orange) และกรดซัลฟูริค (sulfuric acid) 0.025 N
- ชุดไตเตรท ได้แก่ บิวเรต ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ และกระบอกตวง

1.3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความขุ่น

- spectrophotometer รุ่นDR 2010 ของบริษัท Hach
- คิวเวต ขนาด 25 มิลลิลิตร

1.3.4 ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์หาคลอโรฟิลล์ *เอ* อุปกรณ์

- เอธิลแอลกอฮอล์ 90 %
- water bath
- automatic micropipette
- กระดาษกรอง (GF/C)
- กระดาษอลูมิเนียม
- โกร่งบดยา
- spectrophotometer UV-160A

1.3.5 ชุดอุปกรณ์ศึกษาสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆ

- กล้องจุลทรรศน์ชนิดถ่ายภาพได้
- กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ
- สไลด์ และกระจกปิดสไลด์
- น้ำยาลูกอล

1.3.6 ชุดอุปกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii*

- พาสเจอร์ปิเปต (pasture pipette)
- สไลด์หลุม
- ขวดฝาดำขนาด 10 ml
- ชั้นเลี้ยงสาหร่ายพร้อมหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์
- หม้อนึ่งอัดไอ (autoclave)
- อุปกรณ์และเครื่องมือในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Spectronic รุ่น G-20

1.3.7 อุปกรณ์ที่ใช้สกัดและวิเคราะห์คุณภาพไฮโดรคาร์บอน

- ขวด universal bottle

- หลอด centrifuge ขนาด 50 ml
- ตู้แช่แข็ง -80 °C ยี่ห้อ SANYO รุ่น MDF-392
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ SANYO รุ่น HARRIER 18/80
- เครื่องระเหยความดันไอ (rotary evaporator)
- เครื่องฟรีซดรายเออร์ (freeze dryer)
- เครื่องโซนิเคเตอร์ (sonicator)
- ตู้ดูดควัน

2. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- Modified Chu 13 (ภาคผนวก ก)
- CA medium (ภาคผนวก ก)

3. สารเคมี

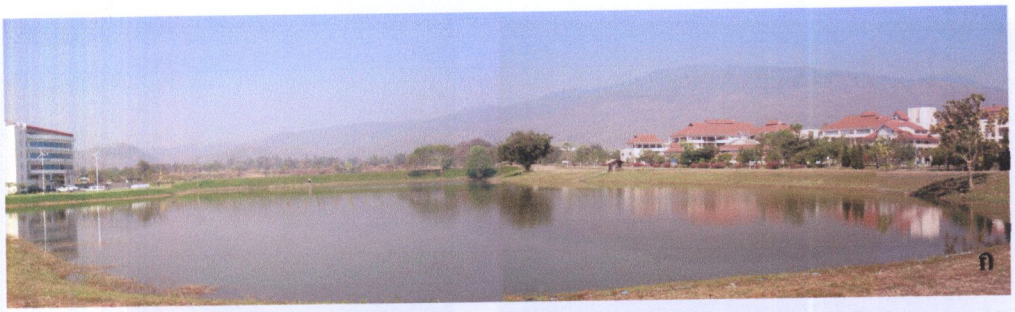
- hexane

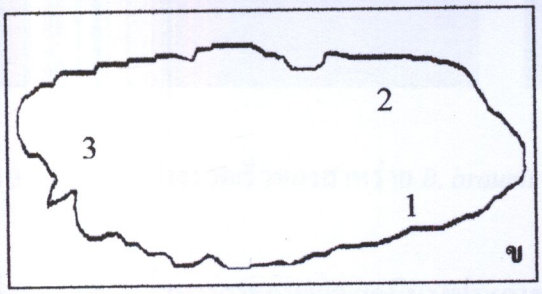
4. การเก็บตัวอย่าง

จากการสำรวจพื้นที่ที่ทำการศึกษากำหนด อ่างเก็บน้ำ 2 อ่างที่ศึกษา คืออ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (MH 2) และ อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (MH 3) อยู่ในอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ โดยในแต่ละอ่างเก็บตัวอย่าง 3 จุด โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างลึกลงไปจากผิวน้ำ 30 เซนติเมตร มีรายละเอียดของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดังนี้

จุดเก็บตัวอย่างที่ 1-3 ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (MH2) ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จุดพิกัดที่ 18°45' 457" N 98°56' 502" E (ภาพ 2) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 300 เมตร เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีถนนและสวนหย่อมล้อมรอบอ่างโดยจะมีการใส่ปุ๋ยรดน้ำต้นไม้ประจำ ทำให้น้ำบริเวณนั้นค่อนข้างขุ่นตะกอนดิน และมีการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* บริเวณข้างบ่อในฤดูร้อน (ภาพ 3)

จุดเก็บตัวอย่างที่4-6 ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (MH3) ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จุดพิกัดที่ 18°45' 448" N 98°56' 359"E มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 300 เมตร เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กอยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีเพียงถนนเส้นเดียวกั้น น้ำใส โดยริมฝั่งปกคลุมด้วยต้นไม้และหญ้าสูงโดยเฉพาะหน้าฝน (ภาพ 4)





ภาพ 2 อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ แสดงจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด

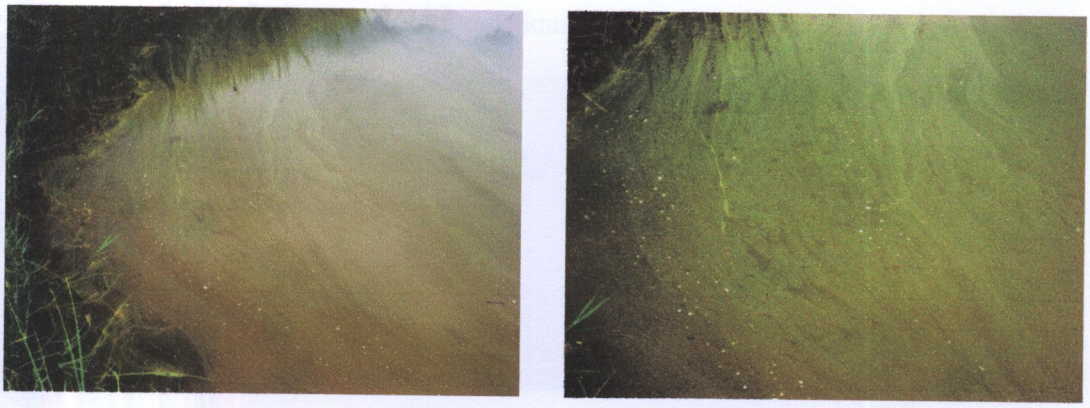
ก. อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2

ข. ภาพหน้าตัดของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุด

ค. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 1

ง. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 2

จ. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 3



ภาพ 3 การเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2

5. ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ดังนี้

3.1 วัดอุณหภูมิของน้ำและอากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

3.2 วัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้ multimeter รุ่น 340i/SET บริษัท WTW

3.3 วัด pH ของน้ำ โดยใช้ multimeter รุ่น 340i/SET บริษัท WTW

3.4 วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen: DO) ตามวิธี iodometric แบบ azide modification method (Greenberg *et al.*, 1992) (ภาคผนวก ก)

3.5 เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ขวดโพลีเอทธิลีน เก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส

6. วิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

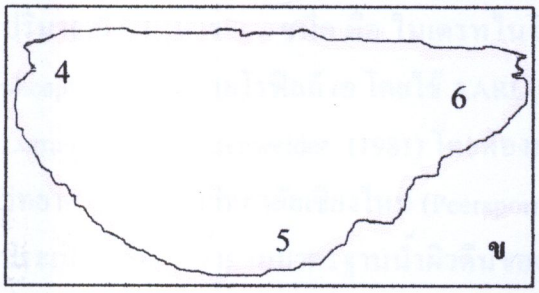
4.1 วัดความเป็นด่างของน้ำ โดยใช้ phenolphthalein methyl orange indicator method (Greenberg *et al.*, 1992) (ภาคผนวก ก)

4.2 วัดปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (biochemical Oxygen demand: BOD) ตามวิธี iodometric แบบ azide modification method (Greenberg *et al.*, 1992) (ภาคผนวก ก)

4.3 วัดค่าความขุ่นของน้ำโดยใช้ spectrophotometer รุ่น DR 2010 ของบริษัท Hach

4.4 วัดปริมาณสารอาหารโดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีเฉพาะกับ spectrophotometer รุ่น DR 2010 ของบริษัท Hach ซึ่งดำเนินวิธีการตาม Greenberg *et al.* (1992) มีรายละเอียดดังนี้ (ภาคผนวก ก)

- ไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี cadmium reduction



ภาพ 4 อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ แสดงจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด

ก. อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

ข. ภาพหน้าตัดของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุด

ค. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 4

ง. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 5

จ. จุดเก็บตัวอย่างน้ำจุดที่ 6

- แอมโมเนียมไนโตรเจน โดยวิธี nesslerization

- Soluble reactive phosphorus โดยวิธี ascorbic acid

4.5 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* โดยสกัดด้วยเอธานอล ตามวิธีของ ISO 10260 (1975) ดัดแปลงโดย ยุวดีและฉมาภรณ์ (2538) และตรวจวัดโดยใช้เครื่อง spectrophotometer UV-160A (ภาคผนวก ก)

7. การประเมินคุณภาพน้ำ

การประเมินคุณภาพน้ำโดยคิดจากพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่า DO ค่า BOD ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณสารอาหาร 3 ชนิด คือ ไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน Soluble reactive phosphorus และคลอโรฟิลล์ *เอ* โดยใช้ AARL-PC score ซึ่งประยุกต์มาจาก Wetzel (2001) และ Lorraine and Vollenweider (1981) โดยห้องปฏิบัติการสาหร่ายประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Peerapornpisal *et al.*, 2003) มาประเมินคุณภาพน้ำ และประเมินคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำผิวดินของประเทศไทยโดยใช้มาตรฐานจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537) (ภาคผนวก ข)

8. การศึกษาสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆ

8.1 เก็บสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆ โดยกรองน้ำผ่านตาข่ายแพลงก์ตอนที่มีความถี่ 10 ไมโครเมตร ที่บริเวณผิวน้ำ เก็บแพลงก์ตอนพืชที่กรองได้ใส่ขวดสีชา แล้วรักษาด้วยน้ำยาลูกอลประมาณ 0.7 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการวินิจฉัยชนิด โดยใช้หนังสือ และเอกสารที่เกี่ยวข้องได้แก่ Presscott (1970), Huber-Pestalozzi (1983), Croasdale *et al.* (1994), Komárek and Anagnostidis (1999), John *et al.*(2002) เป็นต้น

8.2 ศึกษา *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆ โดยศึกษาปริมาณสาหร่าย *B. braunii* รวมถึงศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นในตัวอย่างที่เก็บในข้อ 8.1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ โดยการนับจำนวนทั้งหมด (whole count) จากปริมาณตัวอย่าง 0.02 มิลลิลิตร ทำ 3 ซ้ำ คำนวณจำนวนโคโลนีต่อน้ำ 1 ลิตร

9. การแยกสาหร่าย

นำตัวอย่างน้ำมาแยกเฉพาะโคโลนีของสาหร่าย *Botryococcus braunii* ด้วยวิธี micromanipulative โดยใช้พาสเจอร์ปิเปตที่ดึงปลายจนมีขนาดเล็ก ดูดเอาโคโลนีเดี่ยวภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ ล้างโคโลนีด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วหลายๆ ครั้งโดยใช้พาสเจอร์ปิ

เปต (Stein, 1973) จากนั้นถ่ายลงในขวดฝาดำขนาด 10 ml ที่บรรจุอาหาร 2 ชนิด คือ modified Chu 13 (Largeau *et al.*, 1980) pH 6.7 และ CA (Watanabe *et al.*, 2000) pH 7.2 ปริมาตร 2 ml ชนิดละ 50 ขวดต่อแหล่งน้ำ นำไปบ่มบนชั้นเพาะเลี้ยง อุณหภูมิ 25 °C ให้แสงตลอดเวลา เป็นเวลา 2 เดือน นับจำนวนขวดที่มีการเจริญ ทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์โดยการ streak plate นำสาหร่ายที่เจริญแล้วถ่ายลงในขวดอาหารเหลว

9.1 การเตรียมเชื้อตั้งต้นสาหร่าย *B. braunii*

เตรียมเชื้อตั้งต้นสาหร่าย ในอาหาร CA medium (CA) ปริมาตร 100 ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที ให้แสงตลอดเวลา เป็นเวลา 14 วัน ถ่ายสาหร่ายลงในฟลาสก์ขนาด 250 ml เจือจางด้วยอาหาร CA ให้มีปริมาตร 200 ml เลี้ยงในสภาวะเดิม เป็นเวลา 30 วัน เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้น

9.2 การศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย

9.2.1 ผลของอุณหภูมิ

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ซึ่งแยกได้จากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และเจริญได้รวดเร็วที่สุดเมื่อแยกด้วยอาหาร CA โดยใช้อาหาร CA ปริมาตร 200 ml ใช้เชื้อตั้งต้น 10 % v/v นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เปรียบเทียบกับการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที ให้แสงตลอดเวลา เก็บตัวอย่างโดยวิธีปลอดเชื้อ ทุกๆ 3 วัน ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยวัดค่าความขุ่น (OD) ที่ความยาวคลื่น 680 nm หาน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายโดยการคำนวณ (ภาคผนวก ข) คำนวณอัตราการเจริญจำเพาะ และสกัดหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนเมื่อสาหร่ายเจริญเข้าสู่ระยะ early stationary phase

9.2.2 ผลของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii*

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu 13 ที่มี pH 6.7 เปรียบเทียบกับอาหาร CA ที่มี pH 7.2 บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เชื้อให้อัตราการเจริญสูงสุดจากข้อ 9.2.1 เขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที ให้แสงตลอดเวลา เก็บตัวอย่างโดยวิธีปลอดเชื้อ ทุกๆ 5 วัน ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยวัดค่าความขุ่น (OD) ที่ความยาวคลื่น680 nm หาน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายโดยการคำนวณ (ภาคผนวก ข) คำนวณอัตราการเจริญจำเพาะ และสกัดหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนเมื่อสาหร่ายเจริญเข้าสู่ระยะ early stationary phase

9.2.3 ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA ปริมาตร 200 ml ที่มี pH แตกต่างกัน คือ 7.2, 8.0, และ8.5 ใช้เชื้อตั้งต้น 10 % v/v บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เชื้อให้อัตราการเจริญสูงสุดจากข้อ 9.2.1 เขย่าที่ความเร็ว 120 รอบ/นาที ให้แสงตลอดเวลา เก็บตัวอย่างโดยวิธีปลอดเชื้อ ทุกๆ 5 วัน ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยวัดค่าความขุ่น (OD) ที่ความยาวคลื่น 680 nm หาน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่ายโดยการคำนวณ (ภาคผนวก ข) คำนวณอัตราการเจริญจำเพาะ และสกัดหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนเมื่อสาหร่ายเจริญเข้าสู่ระยะ early stationary phase

9.3 การสกัดไฮโดรคาร์บอนจากสาหร่าย *B. braunii* (ดัดแปลงจาก ยศวดี, 2547; Dayananda *et al.*, 2005)

นำสาหร่ายที่มีการเจริญในช่วง early stationary phase มาระเหยน้ำออกด้วยเครื่อง rotary evaporator และทำแห้งด้วยเครื่อง freeze dryer ชั่งน้ำหนักสาหร่ายและนำสาหร่ายแห้งที่ได้มาสกัดไฮโดรคาร์บอนด้วยสารละลายเฮกเซนเป็นเวลา 5 นาทีด้วยเครื่อง sonicator โดยใช้ความถี่ 10 kHz จากนั้นนำไป centrifuge ที่ความเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำ supernatant ไประเหยในตู้ดูดควันจนสารละลายเฮกเซนระเหยหมด นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จนน้ำหนักคงที่ น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด

10. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆกับคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ

ทำการศึกษาปริมาณของสาหร่าย *B. braunii* และคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ ในอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้วิธี Randomize complete block design และ Complete randomize design หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Turkey (HSD) comparison of mean ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 13

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่าย *B. braunii* และคุณภาพน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างวิเคราะห์โดยใช้วิธี Principal Components Analysis (PCA) โดยใช้โปรแกรม MVSP เวอร์ชั่น 3.1 และสหสัมพันธ์ (correlation) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น13

11. สถานที่ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยและรวบรวมข้อมูล

11.1 อ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่

11.2 ห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

12. ระยะเวลาในการดำเนินงาน

เก็บตัวอย่างและคุณภาพน้ำเดือนละ 2 ครั้ง ระหว่างเดือนกันยายน 2551 – สิงหาคม 2552 รวม 25 ครั้ง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการติดตามตรวจสอบการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชทั่วไปในอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ ร่วมกับการศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการระหว่างเดือน กันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 ปรากฏผลการศึกษาดังนี้

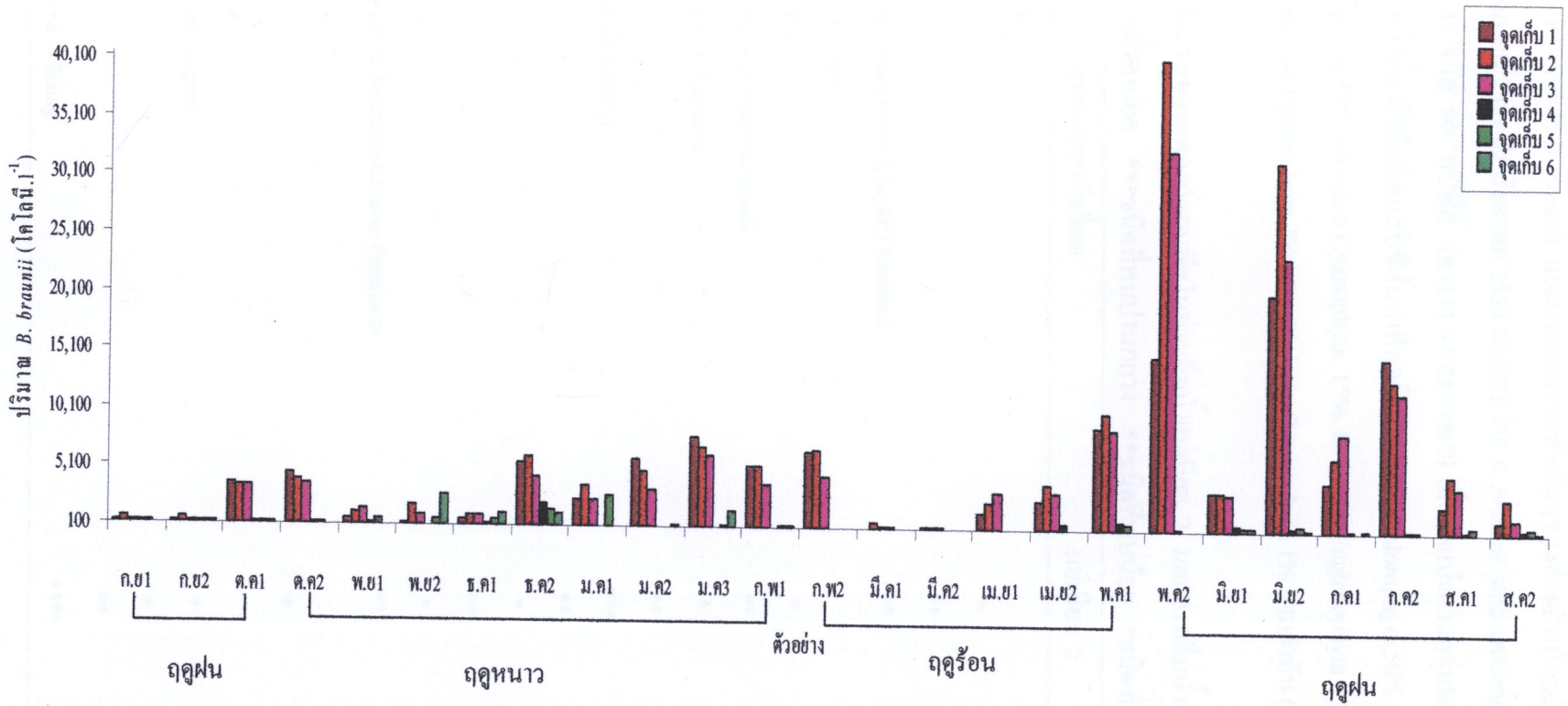
1. สาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชทั่วไป

1.1 ปริมาณสาหร่าย *B. braunii*

จากการนับจำนวนสาหร่าย *B. braunii* พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีปริมาณสาหร่าย *B. braunii* ต่ำสุด คือ 300 colony.l^{-1} ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 และ 3 ของฤดูฝนในเดือนกันยายน 2552 และปริมาณสาหร่าย *B. braunii* สูงสุดคือ 40,500 colony.l^{-1} ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูฝน ในเดือนพฤษภาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ไม่พบปริมาณ *B. braunii* ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายน 2551 และ มกราคม 2552 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 และจุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูหนาวในเดือนตุลาคม พฤศจิกายน 2551 และ มกราคม 2552 และปริมาณสาหร่าย *B. braunii* สูงสุดคือ 2,700 colony.l^{-1} ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาว ในเดือนมกราคม 2552 (ภาพ 5, ภาคผนวก ค)

1.2 การวินิจฉัยและจัดจำแนกแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด

จากการศึกษาสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ระหว่างเดือนกันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 พบสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆ ทั้งหมด 7 ดิวิชั่น 49 จีนัส 99 สปีชีส์ (ตาราง 3 และภาพ 6) เมื่อจัดแบ่งตามกลุ่มของ Bold and Wynne (1978) ได้ 7 ดิวิชัน ดิวิชันที่พบสปีชีส์มากที่สุดได้แก่ Division Chlorophyta 52 % รองลงมาคือDivision Bacillariophyta 16% Division Cyanophyta 14% Division Euglenophyta 11% Division Chrysophyta 4% Division Pyrrhophyta 2% และ Division Cryptophyta 1% ตามลำดับ (ภาพ 7) และพบว่าสาหร่าย *B. braunii* มีระยะการเจริญแตกต่างกันในช่วงเวลาต่างๆ (ภาพ 8)



ภาพ 5 ปริมาณ *Botryococcus braunii* Kützing ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)

จากการศึกษาสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (MH 3) ระหว่างเดือนกันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 พบสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆ ทั้งหมด 7 ดิวิชั่น 51 จีนัส 90 สปีชีส์ (ตาราง 3 และภาพ 9) เมื่อจัดแบ่งตามกลุ่มของ Bold and Wynne (1978) ได้ 7 ดิวิชั่น ดิวิชันที่พบสปีชีส์มากที่สุดคือ Division Chlorophyta 50% รองลงมาคือ Division Bacillariophyta 18% Division Cyanophyta 15% Division Euglenophyta 11% Division Chrysophyta 3% Division Pyrrhophyta 2% และ Division Cryptophyta 1% ตามลำดับ (ภาพ 10)

ตาราง 3 ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

****ชนิดที่พบบ่อย ***ชนิดที่พบปานกลาง **ชนิดที่พบน้อย *ชนิดที่พบน้อยมาก

แพลงก์ตอนพืชที่พบ	แม่เหียะ 2	แม่เหียะ 3
Division Cyanophyta		
Anabaena sp.	*	**
Chroococcus sp.	**	-
Cylindrospermopsis phillipinensis (Taylor) Komárek	**	**
Seenayya & Subba et Raju		
Cylindrospermopsis sp.	*	**
Coelomoron pusillum (Van Goor) Komárek	**	**
Merismopedia punctata Komárek	*	**
Merismopedia sp	**	*
Microcystis aeruginosa Kützing	***	**
Microcystis sp.	**	**
Oscillatoria sp.	*	**
Planktolyngbya sp.1	**	**
Planktolyngbya sp.2	*	**
Pseudanabaena mucicola Naumann&Huber-Pestalozzi	**	***
Pseudanabaena sp.	-	***
Spirulina sp.	*	-
Division Chlorophyta		
Actinastrum hantzchii Lagerh	*	-
Actinastrum sp.	*	-
Ankistrodesmus sp.	**	**
Botryococcus braunii Kützing	****	**

ตาราง 3 (ต่อ)

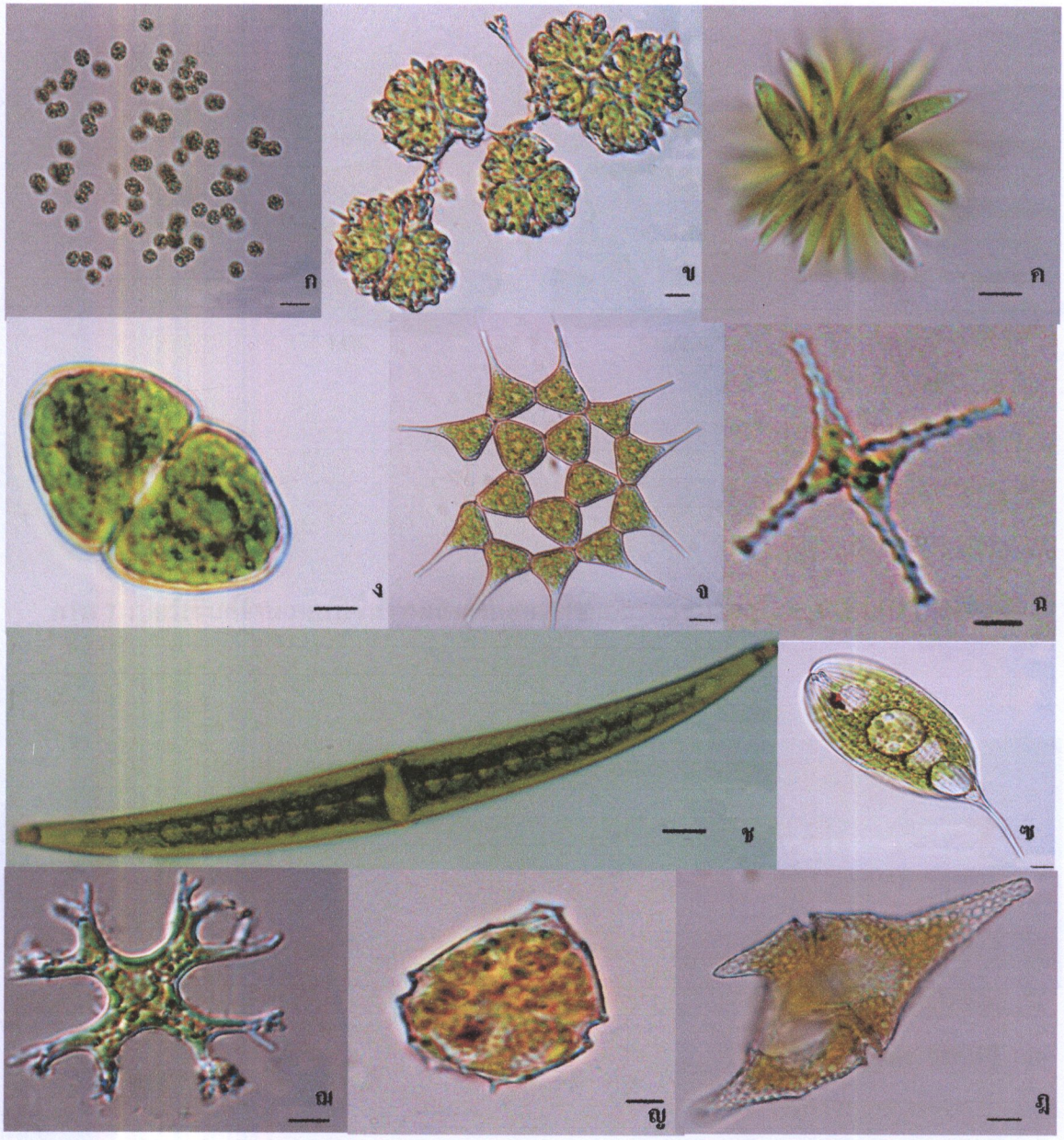
แพลงก์ตอนพืชที่พบ	แม่เหียะ 2	แม่เหียะ 3
Chlorella sp.	*	*
Closterium pavulum Nägeli var. *cornutum* (Playfair) Krieger	*	-
Closterium cf. *praelongum* var. *brevius* (Nordstedt) Krieger	**	-
Closterium	-	*
Coelastrum microsporum Nägeli Braun	-	*
Coelastrum reticulatum (Dangeard) Sen	*	-
Coenocystis sp.	*	**
Cosmarium askeasyi Schmidle	**	*
Cosmarium klebsii Gutwinski	-	*
Cosmarium monilifoeme (Turpin) Ralfs	*	*
Cosmarium granatum Brébisson ex Ralfs	*	**
Cosmarium sp.2	**	*
Crucigenia irregularis Wille	*	*
Dictyosphaerium tetrachotomum Printz	-	*
Dictyosphaerium sp.	**	**
Elakatothix viridis sensu Skuja	*	*
Golenkinia sp.	*	-
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Möbius	*	*
Micrasterias sp.	*	-
Monoraphidium contortum (Thuret) Komárková-Legnerová	*	-
Monoraphidium tortile (West et West) Komárková-Legnerová	***	-
Monoraphidium sp.	**	**
Mougeotia sp.	**	**
Oocystis sp.	*	***
Pandorina morum (MÖller) Bory de Saint_Vincent	*	*
Pandorina sp.	*	-
Pediastrum biradiatum var. *longecornutum* Gutwinski	*	*
Pediastrum duplex var. *gracillimum* West	*	-
Pediastrum obtusum Lucks	**	*
Pediastrum ovatum (Ehrenberg) A. Braun	-	*
Pediastrum simplex var. *simplex* Meyen	**	-
Pediastrum sp.	**	**

ตาราง 3 (ต่อ)

แพลงก์ตอนพืชที่พบ	แม่เหียะ 2	แม่เหียะ 3
Scenedesmus acuminatus var. *tetradesmoides* Smith	*	*
Scenedesmus hysthix Lagerheim	*	*
Scenedesmus opoliensis var. *mononensis* Chodet	*	-
Scenedesmus perforatus Lemmermann var. *perforatus* Komarek	*	-
Scenedesmus protuberans Fritsch et Rich	*	-
Scenedesmus quadricauda var *.bicaudatus* Hansgrig	**	*
Scenedesmus sp. 1	*	*
Scenedesmus sp. 2	*	*
Selenastrum sp.	*	*
Staurastum ensiferum Turner	*	*
Staurastum excavatum West & West	-	*
Staurastrum gutwinskii Ralfs	-	*
Staurastum longbrachiatum (Borge) Gutwinski	*	*
Staurastum longipes (Nordstedt) Teiling	-	*
Staurastrum manfeldtii Delponte	*	*
Staurastrum submabmanfeidtii West & West	**	*
Staurastum tetracerum (Kützing) Ralfs	*	*
Staurastrum sp. 1	***	*
Staurastrum sp. 2	*	*
Staurastrum sp. 3	*	*
Tetraedron incus Smith	*	*
Tetraedron sp.	*	*
Division Euglenophyta		
Euglena spirogyra var. *abrupte-acuminata* Lemmermann	*	*
Euglena texta (Dujardin) Hübner var.*texta* Starmach	**	***
Euglena sp.1	*	-
Euglena sp.2	**	**
Phacus lismorensis Playf.	**	*
Phacus longicauda (Ehrenberg) Dujardin	**	**
Phacus ranula Pochmann	**	**
Trachelomonas armata (Ehrenberg) Stein	-	**
Trachelomonas cebea var. *spinosa* Balech	*	*

ตาราง 3 (ต่อ)

แพลงก์ตอนพืชที่พบ	แม่เหียะ 2	แม่เหียะ 3
Trachelomonas pulcherrima Playfair	**	**
Trachelomonas sp.1	**	*
Trachelomonas sp.2	*	*
Division Chrysophyta		
Dinobyon sertularia Ehrenberg	*	*
Isthmochloron gracile Chodat	**	**
Centritractus belanophorus Lemmermann	**	**
Mallomonas sp.	**	*
Division Bacillariophyta		
Achnanthes lanceolata (Breb.) Grunow	*	-
Achnanthes sp.	*	-
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen	*	*
Aulacoseira sp.	**	**
Cymbella sp.	*	*
Encyonema sp.	*	-
Eunotia sp.	*	*
Fragilaria sp. 1	*	*
Fragilaria sp. 2	**	**
Meloseira varians Agardh	**	**
Meloseira sp.	**	**
Navicula sp.1	*	-
Navicula sp.2	***	**
Nitzschia sp.	**	**
Pinnularia mesolepta (Ehrenberg)	**	***
Pinnularia sp.	-	***
Stauroneis sp.	***	***
Surirella sp.	-	*
Division Cryptophyta	*	-
Cryptomonas sp.	*	*
Division Pyrrhophyta		
Peridinium inconspicuum Lemmermann	****	***
Ceratium sp.	**	**



scale bar10 μm

ภาพ 6 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2

ก. *Microcystis aeruginosa* Kützing ข. *Botryococcus braunii* Kützing

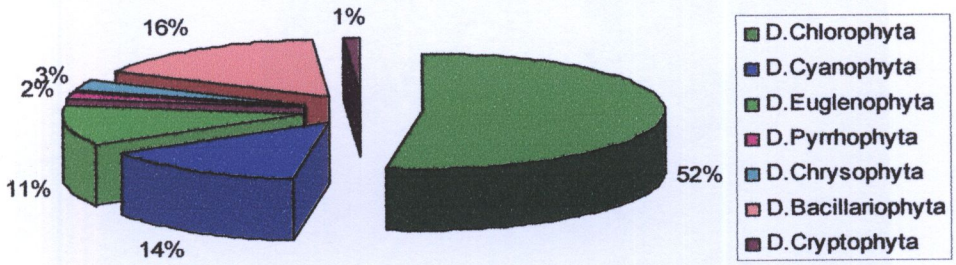
ค. *Ankisthodesmus* sp. ง. *Cosmarium granatum* Brébisson ex Ralfs

จ. *Pediastrum simplex* var. *simplex* Meyen ฉ. *Staurastrum tetracerum* (Kützing) Ralfs

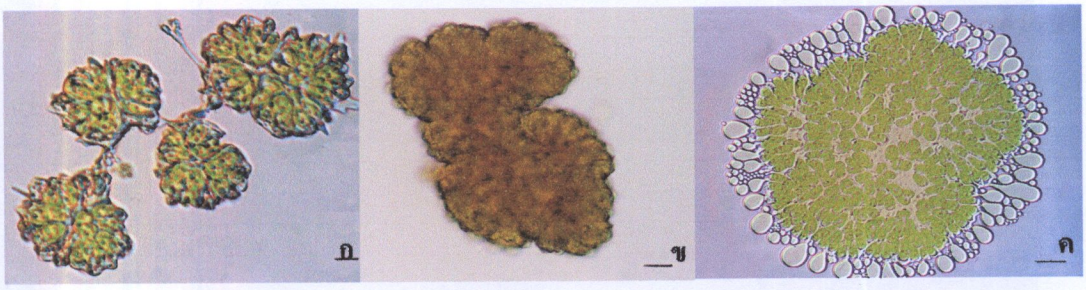
ช. *Closterium* cf. *praelongum* var. *brevius* (Nordstedt) Krieger

ซ. *Phacus lismorensis Playf.* ฌ. *Isthmochloro gracile* Chodet

ญ. *Peridinium inconspicuum* Lemmermann ฎ. *Ceratium* sp.



ภาพ 7 เปอร์เซ็นต์จำนวนสปีชีส์ของแพลงก์ตอนพืชแต่ละดิวิชันที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2

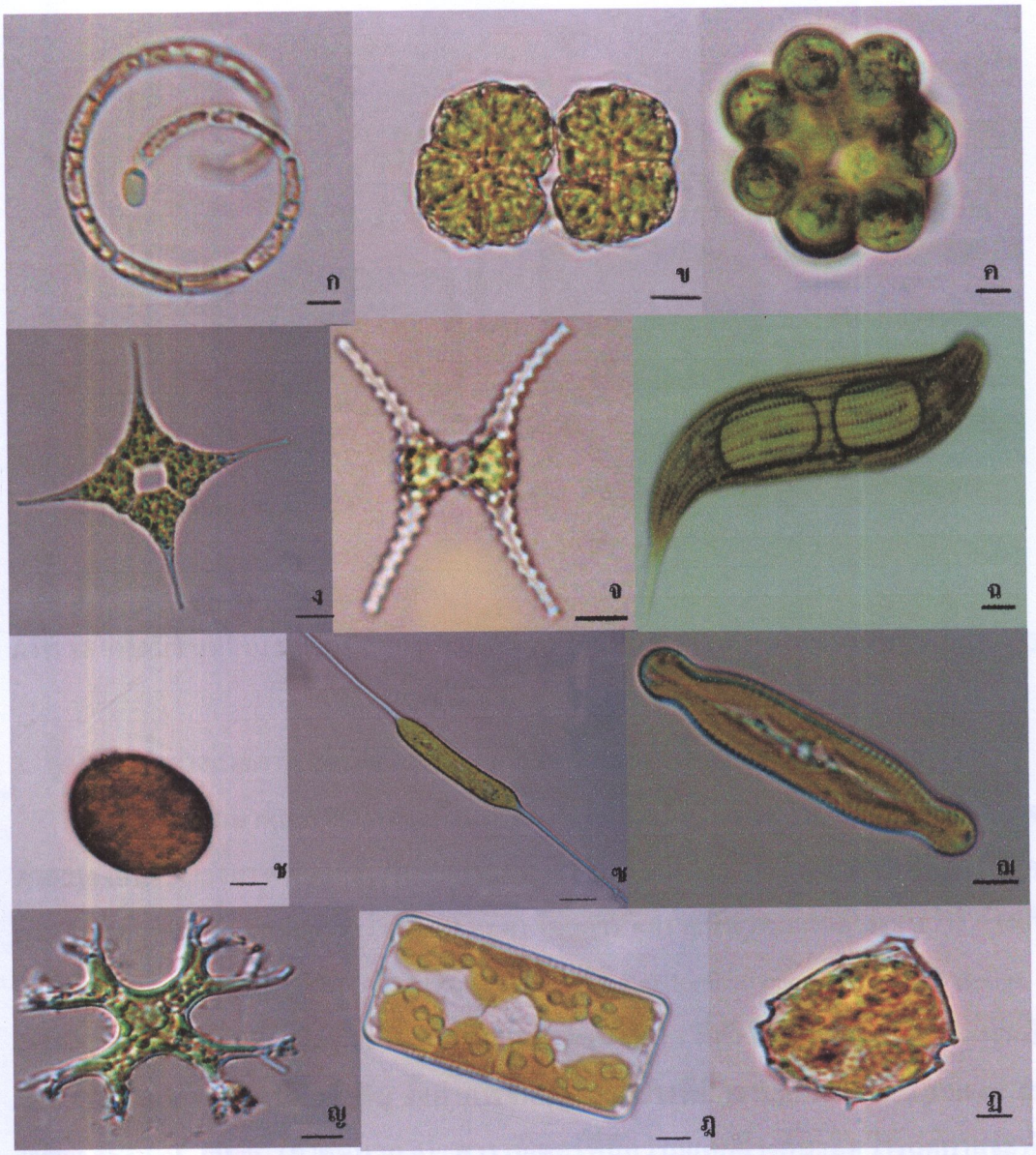


Scale bar 10 μm

ภาพ 8 ระยะต่างๆของสาหร่าย *B. braunii* Kützing ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2

ก. ระยะที่โคโลนีมีสีเขียว ข. ระยะโคโลนีสีน้ำตาลมีการสะสมน้ำมัน

ค. โคโลนีสีเขียวมีการปล่อยน้ำมัน



scale bar10 μm

ภาพ 9 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

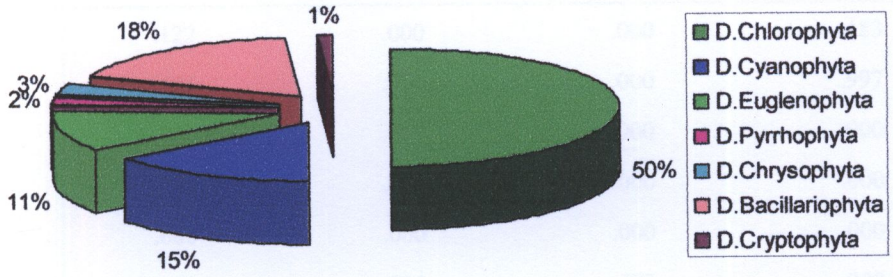
ก. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba et Raju

ข. *Botryococcus braunii* Kützing ค. *Coelastrum* sp. ง. *Pediastrum sp.*

จ. *Staurastrum octoverucosum* Scott&Grönblad var *simplicius* Grönblad

ฉ. *Euglena spirogyra* var. *abrupte-acuminata* Lemmermann

ช. *Trachelomonas armata* (Ehrenberg) Stein ซ. *Centritractus belanophorus* Lemmermann ฌ. *Pinnularia mesolepta (Ehrenberg)* ญ. *Isthmochloron gracile* Chodat ฎ. *Meroseira sp.* ฏ. *Peridiniums inconspicuum* Lemmermann



ภาพ 10 เปอร์เซ็นต์จำนวนสปีชีส์ของแพลงก์ตอนพืชแต่ละดิวิชันที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

2. คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีบางประการของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาล

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมี บางประการ ใน ทั้งหมด 6 จุดเก็บตัวอย่าง เป็นระยะเวลา ตั้งแต่เดือนกันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 โดยทำการเก็บตัวอย่างเดือนละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งสามฤดูกาล (ภาคผนวก ค) โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่าง อ่างเก็บน้ำ เวลาที่เก็บตัวอย่างและฤดูกาล (ตาราง 4, 5) โดยใช้วิธี Randomize complete block design และ Complete randomize design ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 13 ที่ค่าความเชื่อมั่น 0.05 % หากปัจจัยใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการจัดกลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างด้วย Turkey (HSD) comparison of mean (ภาคผนวก ง) พารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลจะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของแต่ละบ่อโดยใช้ Turkey (HSD) comparison of mean (ภาคผนวก ง)

รายละเอียดจากผลการการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมี บางประการ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

2.1 อุณหภูมิของน้ำ พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีอุณหภูมิน้ำต่ำสุดคือ 22.5 °C ที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 อุณหภูมิอากาศสูงสุดคือ 34 °C ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูร้อนในเดือนพฤษภาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีอุณหภูมิน้ำต่ำสุดคือ 22.5 °C ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูหนาวในดือนมกราคม 2552 อุณหภูมิน้ำสูงสุดคือ 34 °C ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม 2552 (ภาพ 11)

ตาราง 4 ผลของ Randomize complete block design ระหว่างอ่างเก็บน้ำ

พารามิเตอร์	ค่าความเชื่อมั่น			
	ระหว่างอ่างเก็บน้ำ	ระหว่างเวลา	Combination	Interaction
อุณหภูมิอากาศ	.122	.000	.000	.183
อุณหภูมิน้ำ	.425	.000	.000	.997
ค่าการนำไฟฟ้า	.000	.000	.000	.000
DO	.000	.000	.000	.000
BOD	.000	.000	.000	.000
pH	.000	.000	.000	.000
ค่าความเป็นด่าง	.000	.000	.000	.000
ค่าความขุ่น	.000	.000	.000	.000
ฟอสเฟต	.000	.000	.000	.000
ไนเตรท	.118	.004	.025	.909
แอมโมเนีย	.885	.000	.000	.327
คลอโรฟิลล์ เอ	.431	.000	.000	.250
B. braunii	.000	.000	.000	.000

ตาราง 5 ผลของ Randomize complete block design ระหว่างฤดูกาล

พารามิเตอร์	ค่าความเชื่อมั่น			
	ระหว่างอ่างเก็บน้ำ	ฤดูกาล	Combination	interaction
อุณหภูมิอากาศ	.552	.000	.000	.852
อุณหภูมิน้ำ	.433	.000	.000	.846
ค่าการนำไฟฟ้า	.000	.000	.000	.000
DO	.000	.553	.001	.943
BOD	.000	.000	.000	.081
pH	.010	.022	.005	.231
ค่าความเป็นด่าง	.000	.385	.000	.273
ค่าความขุ่น	.000	.038	.000	.093
ฟอสเฟต	.000	.010	.000	.083
ไนเตรท	.278	.004	.025	.918
แอมโมเนีย	.663	.022	.090	.403
คลอโรฟิลล์ เอ	.592	.028	.128	.618
B. braunii	.000	.013	.000	.007

2.2 อุณหภูมิของอากาศ พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดคือ 24 $^{\circ}C$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูหนาวในเดือนธันวาคม 2551 อุณหภูมิอากาศสูงสุดคือ 35.9$^{\circ}C$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดคือ 22.5 $^{\circ}C$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูหนาวในเดือนธันวาคม 2552 อุณหภูมิอากาศสูงสุดคือ 34.7$^{\circ}C$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 (ภาพ 12)

2.3 ค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่า pH ต่ำสุดคือ 6.96 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูหนาวในเดือนธันวาคม 2551 ค่า pH สูงสุดคือ 8.55 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่า pH ต่ำสุดคือ 6.00 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูฝนในเดือนกันยายน 2551 ค่า pH สูงสุดคือ 8.35 ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 (ภาพ 13)

2.4 ค่าความเป็นด่าง พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่าความเป็นด่างต่ำสุดคือ 44 $mg.l^{-1}$ as $CaCO_3$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 ค่าความเป็นด่างสูงสุดคือ 120 $mg.l^{-1}$ as $CaCO_3$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูฝนในเดือนกรกฎาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่าความเป็นด่างต่ำสุดคือ 41 $mg.l^{-1}$ as $CaCO_3$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายน 2551 ค่าความเป็นด่างสูงสุดคือ 104 $mg.l^{-1}$ as $CaCO_3$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2552 (ภาพ 14)

2.5 ค่าความขุ่น พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่าความขุ่นต่ำสุด คือ 2 FAU ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2552 ค่าความขุ่นสูงสุดคือ 87 FAU ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่าความขุ่นต่ำสุด คือ 2 FAU ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูร้อน ในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ค่าความขุ่นสูงสุดคือ 80 FAU ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 (ภาพ 15)

2.6 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่า DO ต่ำสุด คือ 5.0 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ค่า DO สูงสุดคือ 9.0 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 และ 3 ของฤดูร้อนในเดือนพฤษภาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่า DO ต่ำสุด คือ

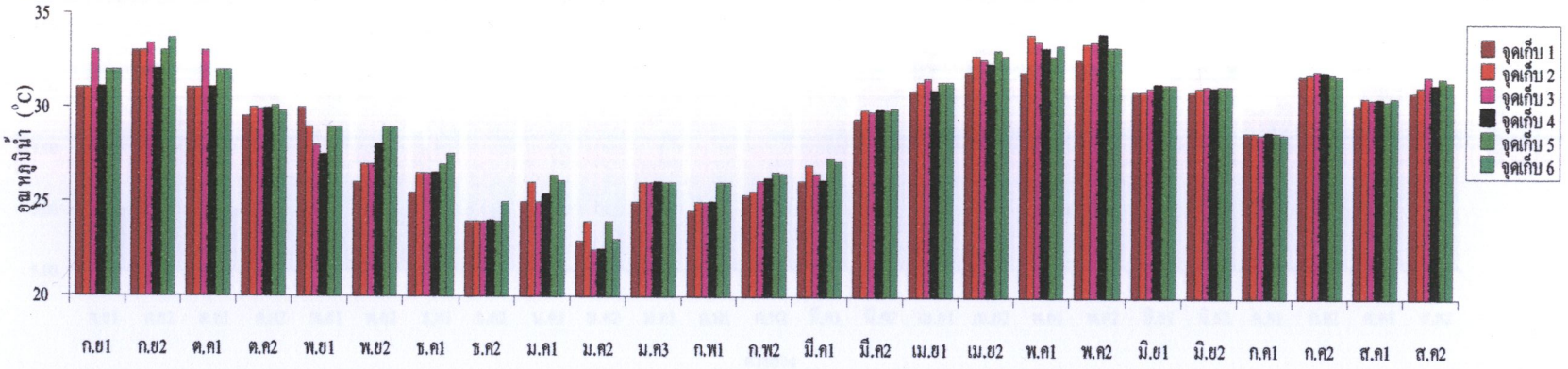
3.8 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูหนาวในเดือนตุลาคม 2551 ค่า DO สูงสุดคือ 8.4 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 (ภาพ 16)

2.7 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่า BOD ต่ำสุดคือ 0.6 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูฝนในเดือนมิถุนายน 2552 และจุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 ค่า BOD สูงสุดคือ 3.6 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่า BOD ต่ำสุดคือ 0.2 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2551 ค่า BOD สูงสุดคือ 3.2 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 และจุดเก็บตัวอย่าง 4 และ 5 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 (ภาพ 17)

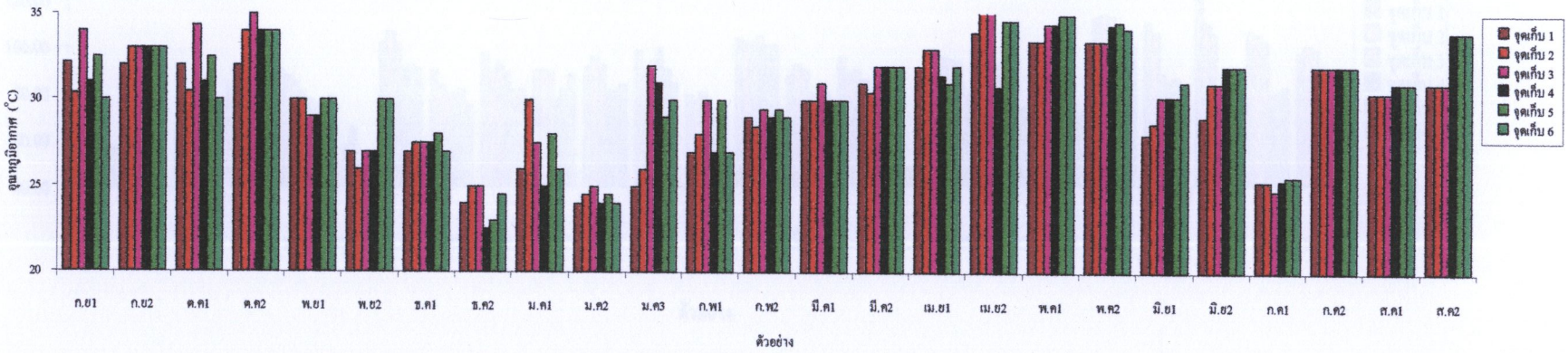
2.8 ค่าการนำไฟฟ้า พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุดคือ 134 $\mu S.cm^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ 197 $\mu S.cm^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ของฤดูฝนในเดือนกันยายน 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุดคือ 128 $\mu S.cm^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาวในเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ 157.7 $\mu S.cm^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูฝนในเดือนกันยายน 2551 (ภาพ 18)

2.9 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (SRP) พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีปริมาณฟอสเฟตต่ำสุดคือ 0.00 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1, 2 และ 3 ของฤดูฝนในเดือนกันยายน 2551 จุดเก็บตัวอย่าง 1และ 3 ของฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2552 ปริมาณฟอสเฟตสูงสุดคือ 0.52 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีปริมาณฟอสเฟตต่ำสุดคือ 0.00 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4, 5 และ 6 ของฤดูฝนในเดือนกรกฎาคม 2552 และจุดเก็บตัวอย่าง 5 และ 6 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 ปริมาณฟอสเฟตสูงสุดคือ 0.25 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม 2552 (ภาพ 19)

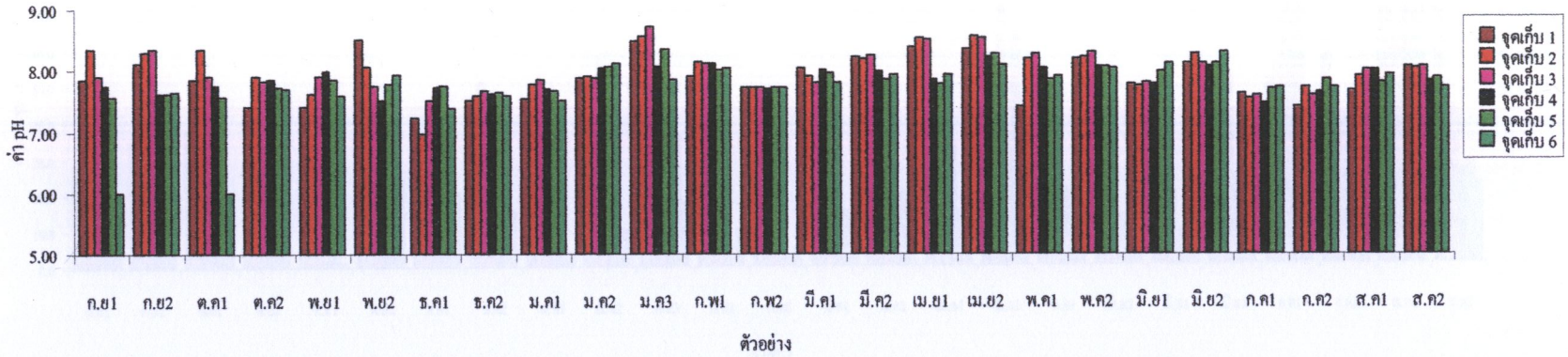
2.10 ไนเตรทไนโตรเจน พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนต่ำสุดคือ0.00 $mg.l^{-1}$ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนสูงสุดคือ 3.10 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ของฤดูฝนในเดือนตุลาคม 2552 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ที่จุดเก็บตัวอย่าง 6 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนสูงสุดคือ 2.30 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูหนาวในเดือนมกราคม 2552 (ภาพ 20)



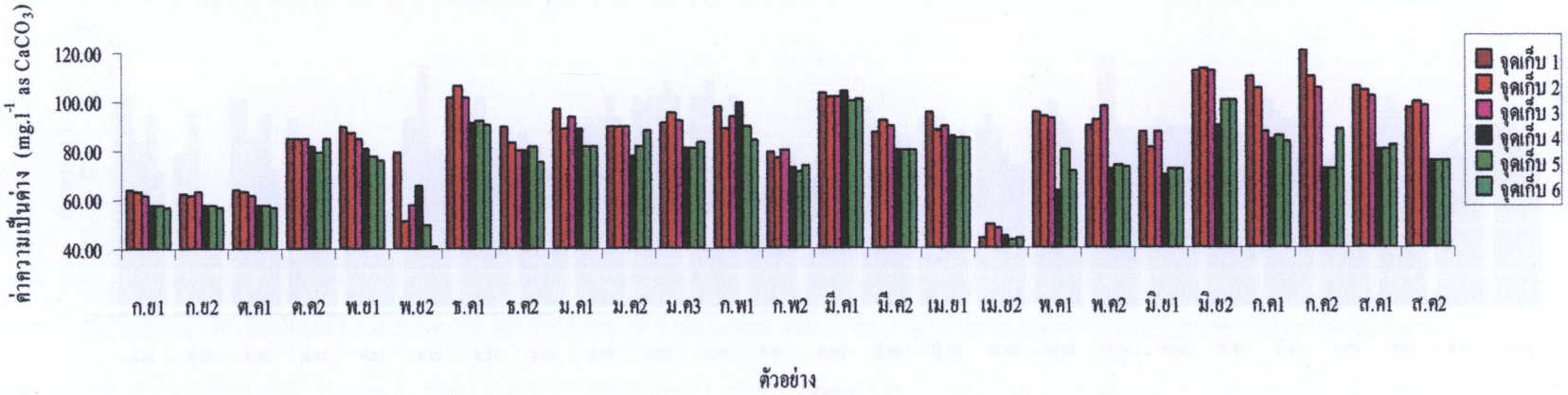
ภาพ 11 อุณหภูมิน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



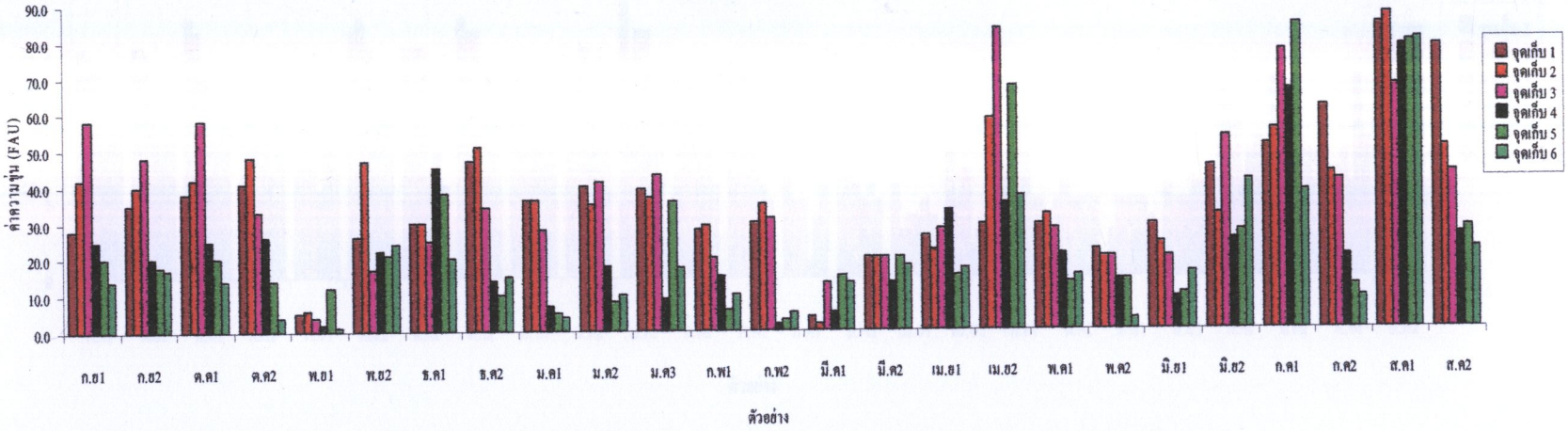
ภาพ12 อุณหภูมิอากาศในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



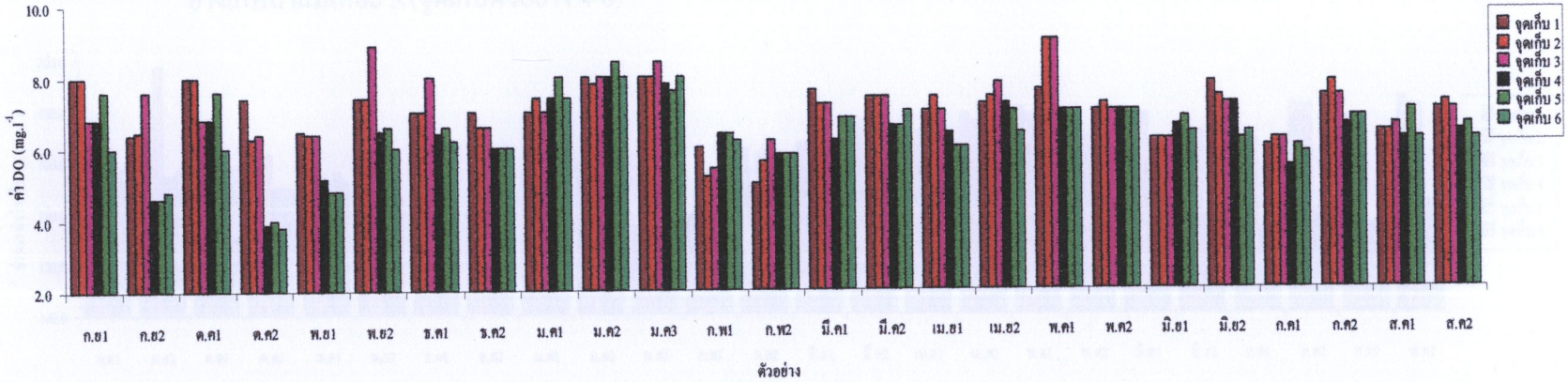
ภาพ 13 ความเป็นกรดด่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



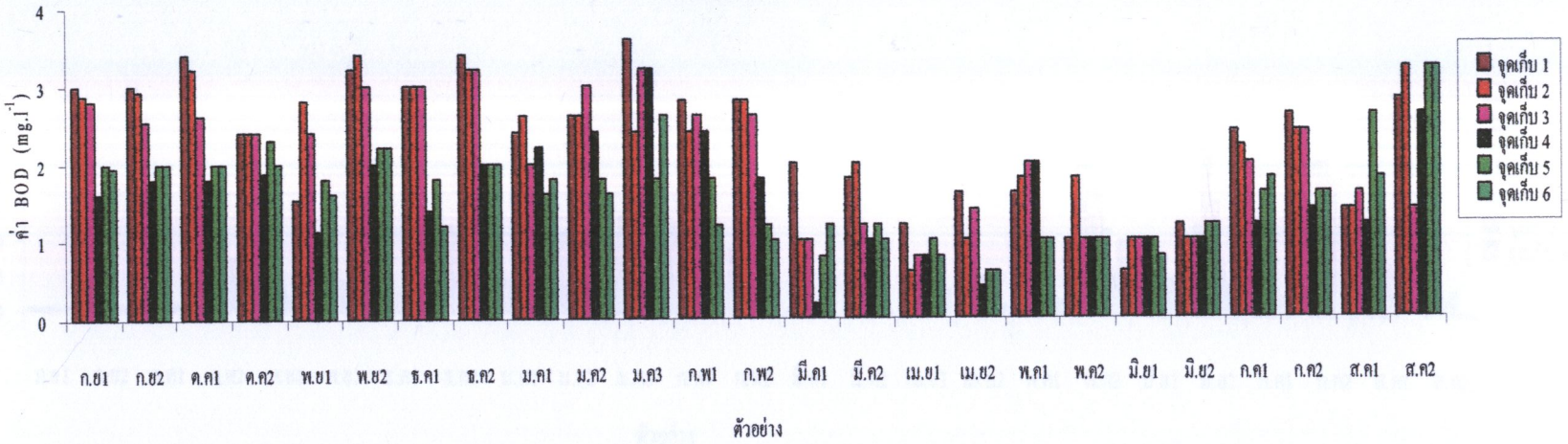
ภาพ 14 ความเป็นด่างในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



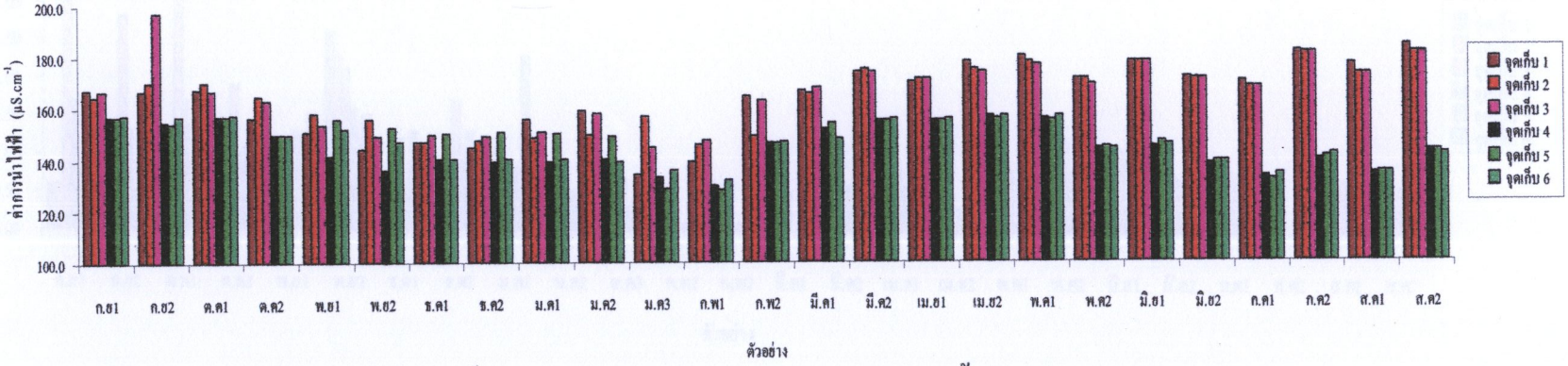
ภาพ 15 ค่าความขุ่นในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



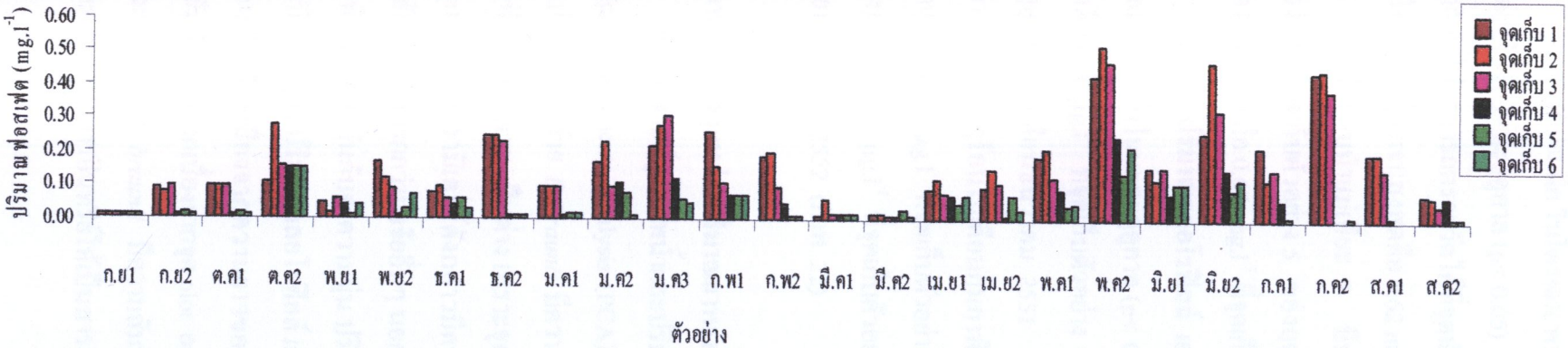
ภาพ 16 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



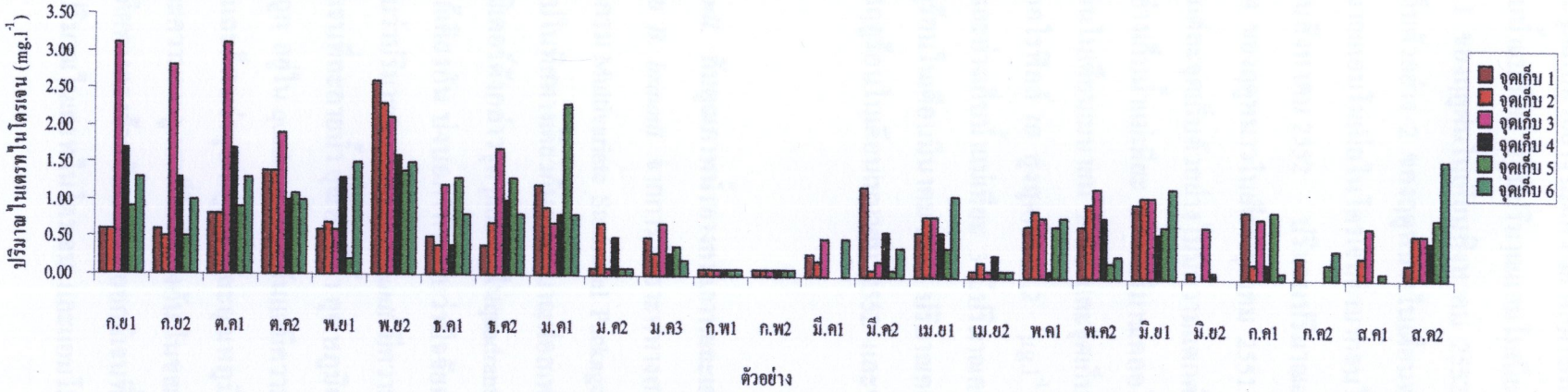
ภาพ 17 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



ภาพ 18 ค่าการนำไฟฟ้าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



ภาพ 19 ปริมาณฟอสเฟตในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



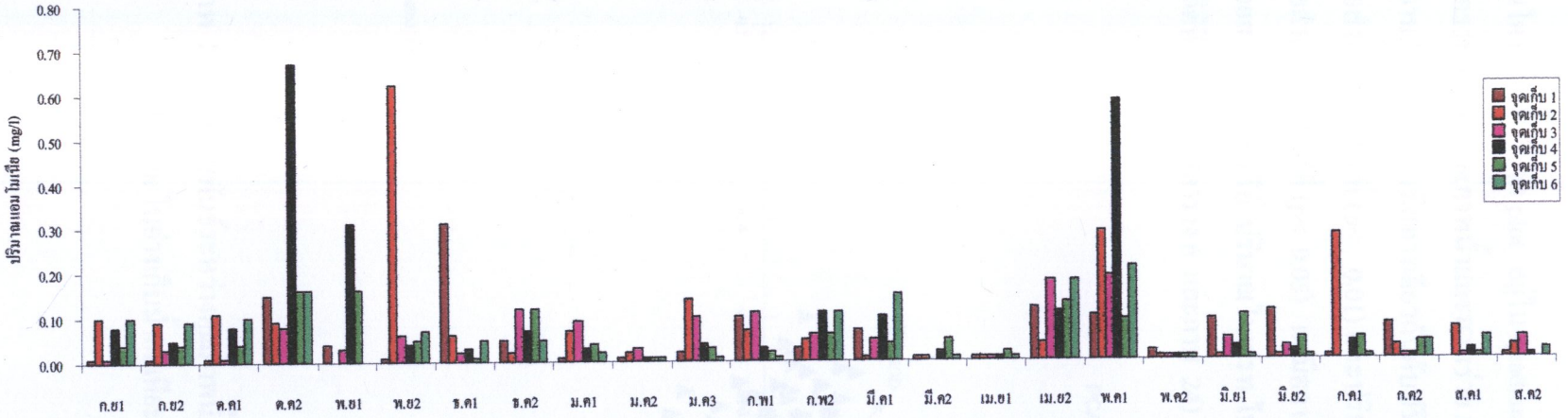
ภาพ 20 ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)

2.11 แอมโมเนีย ไนโตรเจน พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนสูงสุดคือ 0.62 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 2 ของฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายน 2551 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีปริมาณปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ที่จุดเก็บตัวอย่าง 5 ของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 ปริมาณปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุดคือ 0.67 $mg.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูหนาวในเดือนตุลาคม 2551 (ภาพ 21)

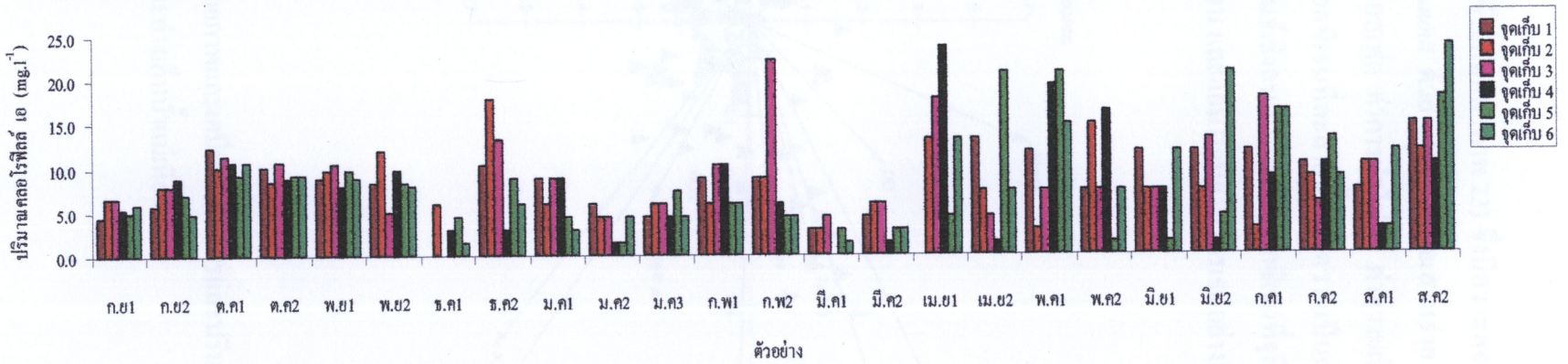
2.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ($p< 0.05$) โดยอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ต่ำสุดคือ 0.00 $\mu g.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 1 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 และจุดเก็บตัวอย่าง 3 ของฤดูหนาวในเดือนธันวาคม 2551 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* สูงสุดคือ 22.2 $\mu g.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ของฤดูร้อนในเดือนกุมภาพันธ์ 2551 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ต่ำสุดคือ 0.00 $\mu g.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูร้อนในเดือนมีนาคม 2552 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* สูงสุดคือ 23.7 $\mu g.l^{-1}$ ที่จุดเก็บตัวอย่าง 4 ของฤดูร้อนในเดือนเมษายน 2552 และของฤดูฝนในเดือนสิงหาคม 2552 (ภาพ 22)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาหร่าย *B. braunii* กับคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณสาหร่าย *B. braunii* จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Principal Components Analysis (PCA) ด้วยโปรแกรม Multivariate Statistical Package (MVSP) พบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฟอสเฟต ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นด่าง เพราะจุดของพารามิเตอร์ดังกล่าวจุด plot อยู่ในquadrant เดียวกัน และลูกศรของพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความยาวใกล้เคียงกัน บ่งบอกให้ทราบว่าปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันมากกว่าปัจจัยอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความขุ่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* เพราะจุดถูก อยู่ใน quadrant เดียวกันแต่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างน้อยเนื่องจากความยาวของลูกศรสั้นและก็พบว่าอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กันมากเนื่องจากจุด plot อยู่ใกล้กันและความยาวลูกศรก็ใกล้เคียงกัน ในขณะที่พบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนีย

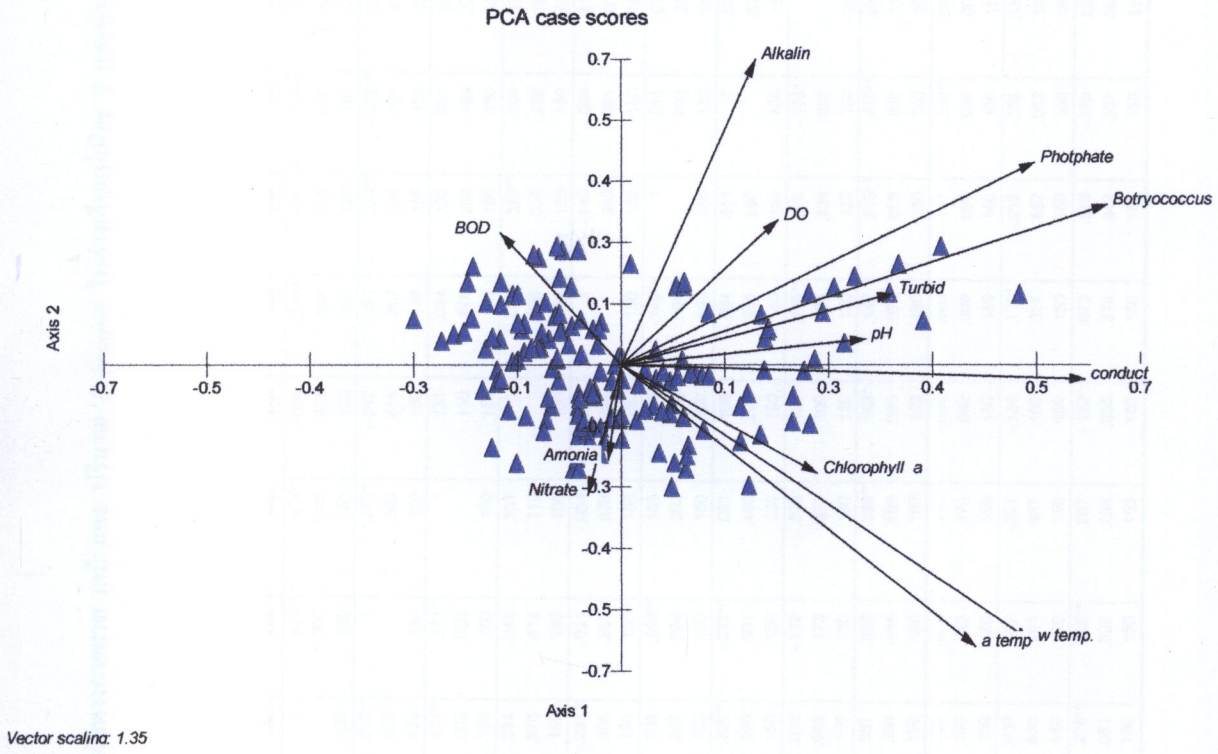


ภาพ 21 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)



ภาพ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 (จุดเก็บตัวอย่าง 1-3) และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 (จุดเก็บตัวอย่าง 4-6)

ไนโตรเจน เพราะจุด plot อยู่ใน quadrant ตรงข้ามกันกัน (ภาพ 23) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำและสาหร่าย *B. braunii* ด้วย พบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณฟอสเฟต ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p< 0.01$) และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p< 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p< 0.05$) (ตาราง 6 และภาพ 24)



ภาพ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการและปริมาณสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

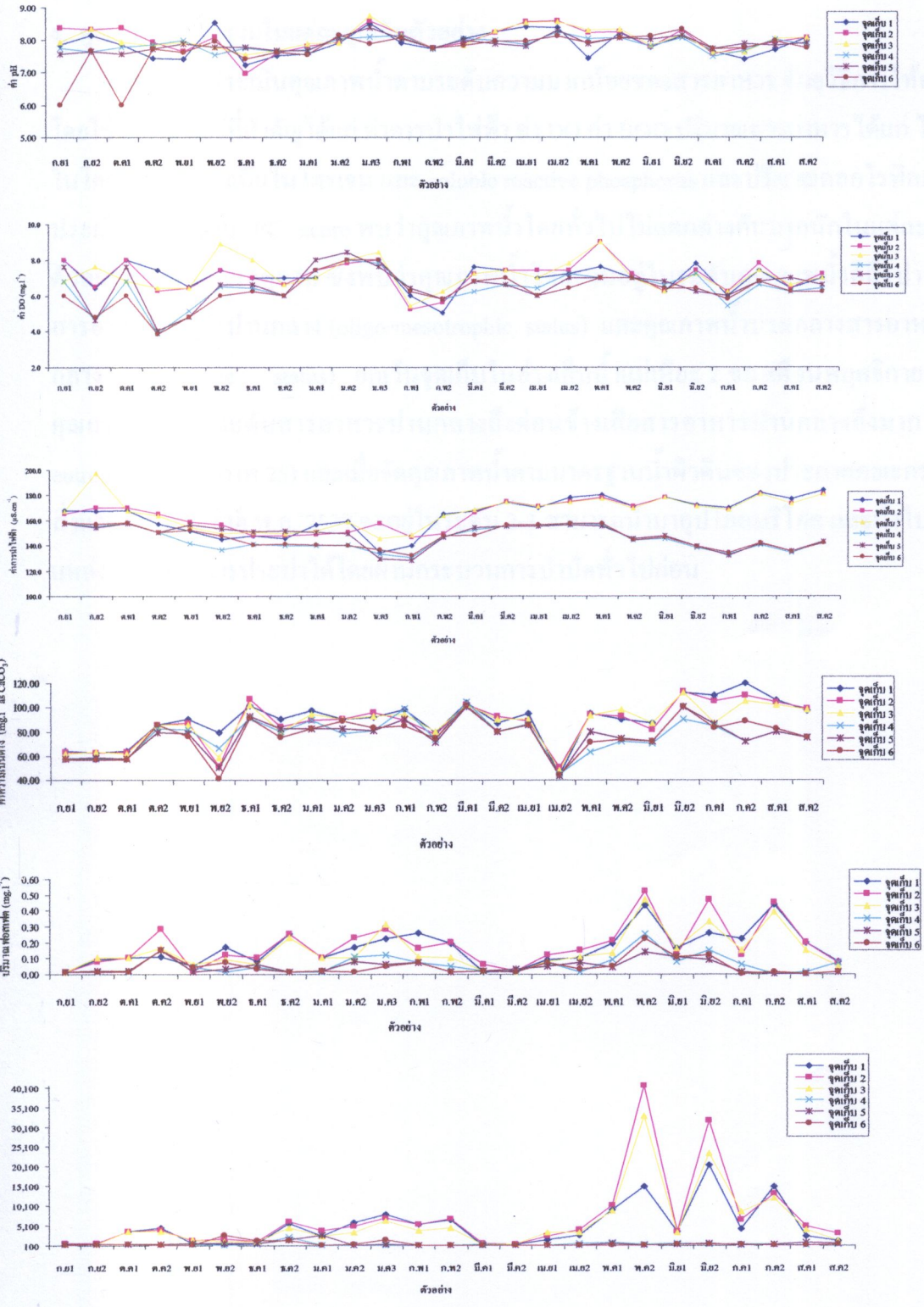
ตาราง 6 สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ เคมี และ ปริมาณ *B. braunii* ในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3

Correlations

		B.braubii	Temp.water	Temp.air	Conductivity	DO	BOD	pH	Alkalinity	Turbidity	Phosphate	Nitrate	Ammonia	Chlophylla
B.braubii	Pearson Correlation	1	.148	.052	.346**	.203*	-.003	.169*	.376**	.033	.812**	-.042	-.048	.122
	Sig. (2-tailed)		.071	.524	.000	.013	.972	.039	.000	.692	.000	.612	.560	.138
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Temp.water	Pearson Correlation	.148	1	.817**	.474**	-.034	-.233**	.105	-.295**	.016	.087	.124	.039	.276**
	Sig. (2-tailed)	.071		.000	.000	.676	.004	.202	.000	.845	.289	.130	.633	.001
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Temp.air	Pearson Correlation	.052	.817**	1	.371**	-.042	-.091	.234**	-.272**	-.112	.058	.030	.092	.225**
	Sig. (2-tailed)	.524	.000		.000	.614	.267	.004	.001	.173	.484	.713	.261	.006
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Conductivity	Pearson Correlation	.346**	.474**	.371**	1	.131	-.034	.105	.061	.073	.298**	.111	-.001	.087
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.110	.678	.202	.460	.371	.000	.176	.987	.288
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
DO	Pearson Correlation	.203*	-.034	-.042	.131	1	.021	.323**	.104	.131	.183*	-.006	-.134	-.172*
	Sig. (2-tailed)	.013	.676	.614	.110		.798	.000	.205	.109	.025	.942	.103	.035
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
BOD	Pearson Correlation	-.003	-.233**	-.091	-.034	.021	1	-.149	-.004	.276**	.147	.303**	.176*	.073
	Sig. (2-tailed)	.972	.004	.267	.678	.798		.069	.961	.001	.073	.000	.031	.378
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
pH	Pearson Correlation	.169*	.105	.234**	.105	.323**	-.149	1	.011	.079	.213**	-.141	-.015	.016
	Sig. (2-tailed)	.039	.202	.004	.202	.000	.069		.893	.338	.009	.085	.852	.842
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Alkalinity	Pearson Correlation	.376**	-.295**	-.272**	.061	.104	-.004	.011	1	-.175*	.417**	-.308**	-.159	-.079
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.001	.460	.205	.961	.893		.032	.000	.000	.052	.337
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Turbidity	Pearson Correlation	.033	.016	-.112	.073	.131	.276**	.079	-.175*	1	.080	.283**	.131	.222**
	Sig. (2-tailed)	.692	.845	.173	.371	.109	.001	.338	.032		.330	.000	.109	.006
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Phosphate	Pearson Correlation	.812**	.087	.058	.298**	.183*	.147	.213**	.417**	.080	1	-.065	.002	.125
	Sig. (2-tailed)	.000	.289	.484	.000	.025	.073	.009	.000	.330		.428	.978	.128
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Nitrate	Pearson Correlation	-.042	.124	.030	.111	-.006	.303**	-.141	-.308**	.283**	-.065	1	.087	.109
	Sig. (2-tailed)	.612	.130	.713	.176	.942	.000	.085	.000	.000	.428		.291	.186
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Ammonia	Pearson Correlation	-.048	.039	.092	-.001	-.134	.176*	-.015	-.159	.131	.002	.087	1	.044
	Sig. (2-tailed)	.560	.633	.261	.987	.103	.031	.852	.052	.109	.978	.291		.593
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Chlophylla	Pearson Correlation	.122	.276**	.225**	.087	-.172*	.073	.016	-.079	.222**	.125	.109	.044	1
	Sig. (2-tailed)	.138	.001	.006	.288	.035	.378	.842	.337	.006	.128	.186	.593	
	N	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

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

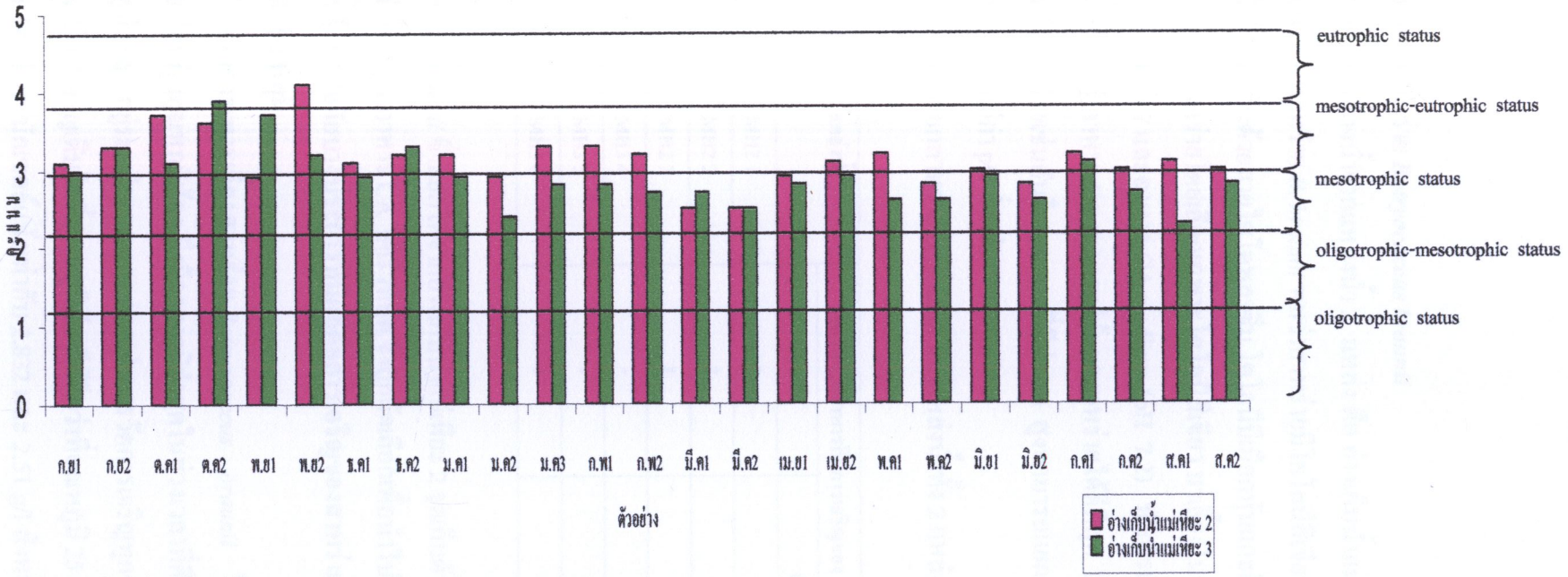
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



ภาพ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีบางประการต่อการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3

4. คุณภาพน้ำโดยรวมในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จากการประเมินคุณภาพน้ำตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร ด้วยวิธีการให้คะแนนโดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า DO ค่า BOD ปริมาณสารอาหารได้แก่ ไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และ soluble reactive phosphorus และปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* มาประเมินตาม AARL-PC score พบว่าคุณภาพน้ำโดยทั่วไปไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง และแต่ละฤดูกาล ซึ่งพบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับคุณภาพน้ำดีถึงปานกลางสารอาหารน้อยถึงปานกลาง (oligo-mesotrophic status) และคุณภาพน้ำปานกลางสารอาหารปานกลาง (mesotrophic status) ยกเว้นจุดเก็บในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ของเดือนพฤศจิกายน 2551 คุณภาพน้ำอยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงค่อนข้างเสียสารอาหารปานกลางถึงมาก (meso-eutrophic status)(ภาพ 25) และเมื่อจัดคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำผิวดินของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 จะอยู่ในระดับ 2-3 สามารถนำมาอุปโภคบริโภค และนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการประปาได้โดยผ่านกระบวนการบำบัดทั่วไปก่อน



ภาพ 25 คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ตาม AARL- PC Score

5. การคัดแยกสาหร่าย *Botryococcus braunii*

เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ 2 แหล่ง คือ อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เมื่อทำการแยกสาหร่าย *B. braunii* พบว่าสาหร่ายมีโคโลนีสีเขียว บางโคโลนีมีสีเหลืองปนส้ม บางโคโลนีเชื่อมต่อกันด้วยสายไซโตพลาซึม โคโลนีมีเมือกหุ้มและผิวไม่เรียบ มีขนาดตั้งแต่ 6-120 µm ทำการคัดแยกสาหร่ายโดยเลือกเฉพาะโคโลนีสีเขียว มาเลี้ยงในอาหาร 2 สูตร คือ อาหาร Modified Chu 13 (pH 6.7 และอาหาร CA medium (pH 7.2) ทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 °C ให้แสงตลอดเวลา พบว่าอาหาร CA สามารถใช้แยกสาหร่ายได้ดีที่สุด และยังพบว่าค่า pH ของอาหารมีผลต่อการคัดแยกด้วยเช่นกัน โดยอาหารที่มีค่า pH สูงสามารถแยกสาหร่ายจากแหล่งน้ำที่มีค่า pH สูงได้ดีกว่าอาหารที่มีค่า pH ต่ำกว่า

ตาราง 7 การคัดแยกสาหร่าย *B. braunii* จากแหล่งน้ำทั้ง 2 แหล่ง

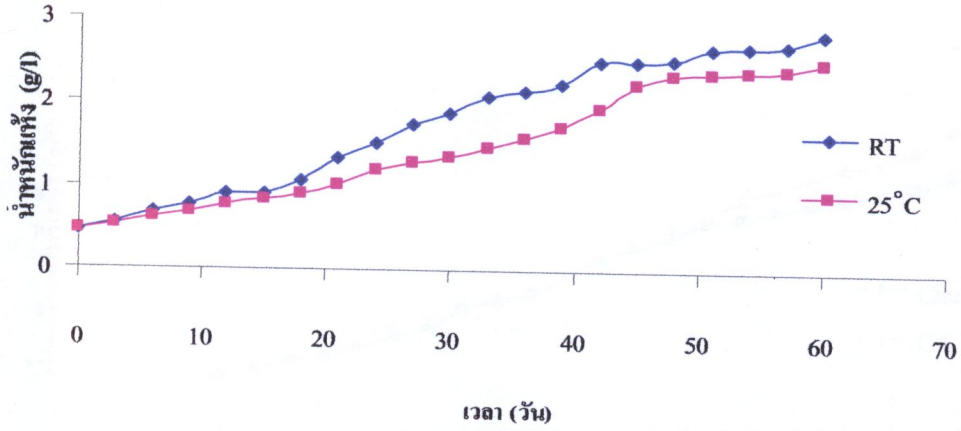
แหล่งน้ำ	จำนวนขวดอาหารที่มีการเจริญของ *B. braunii*	
	Chu 13	CA
MH2 1	1	4
MH2 2	2	7
MH2 3	1	4
MH3 4	-	2
MH3 5	-	1
MH3 6	1	2

สาหร่าย *B. braunii* ซึ่งแยกได้จากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 มีการเจริญให้เห็นเป็นโคโลนีสีเขียวในอาหาร CA ได้เร็วที่สุด จึงถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

6. การศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย

6.1 อุณหภูมิ

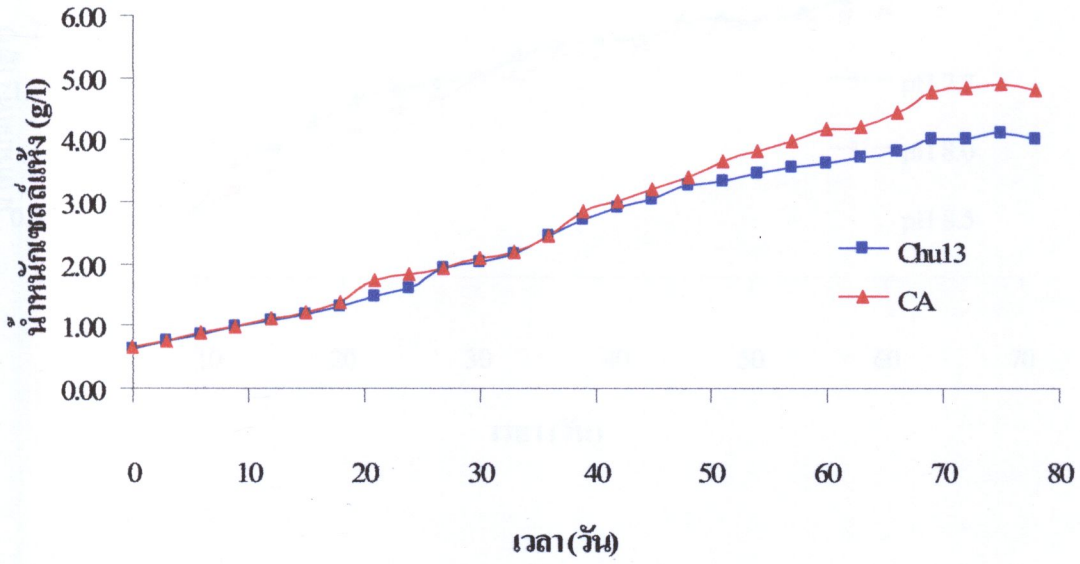
จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Botryococcus braunii* ในอาหาร CA ที่อุณหภูมิ 25 °C เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลาที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 26.5 – 29.5 °C และอุณหภูมิสูงสุด อยู่ระหว่าง 30 – 32.5 °C ทำการวัดการเจริญทุกๆ 3 วัน (ภาพ 26) พบว่า สาหร่าย *B. braunii* มีการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิห้องได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C (ภาคผนวก จ) เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 2.832 และ 2.51 g/l สำหรับการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 25 °C ตามลำดับ



ภาพ26 การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA (pH 7.2) ที่อุณหภูมิ 25 °C และอุณหภูมิห้อง (RT)

6.2 อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* PK5

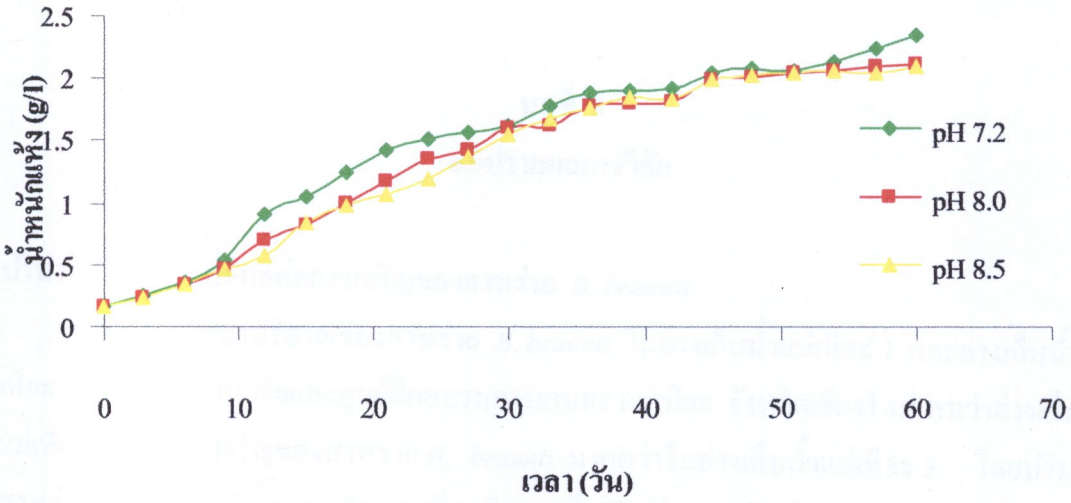
รายงานการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ส่วนใหญ่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหาร modified Chu 13 ที่มี pH 6.7 (Metzger and Largeau, 2005) แต่สาหร่าย *B. braunii* สามารถแยกได้จากการใช้อาหาร CA ที่มี pH 7.2 จึงทำการเพาะเลี้ยง *B. braunii* เปรียบเทียบในอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดการเจริญทุกๆ 3 วัน (ภาพ 27) พบว่า สาหร่าย *B. braunii* มีการเจริญเติบโตในอาหาร CA ได้ดีกว่าอาหาร modified Chu 13 (ภาคผนวก จ) เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 2.504 g/l ส่วนในอาหาร modified Chu 13 สาหร่ายมีการเจริญเติบโตช้ากว่า โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 1.658 g/l



ภาพ 27 การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu 13 (pH 6.7) และ CA (pH 7.2) ที่อุณหภูมิห้อง

6.3 ความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มีการปรับค่า pH เท่ากับ 7.2, 8.0 และ8.5 โดยเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดการเจริญทุกๆ 3 วัน (ภาพ 28) พบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี pH 7.2 ซึ่งมีความแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงที่ค่า pH อื่นๆ (ภาคผนวก จ) เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 2.341 g/l รองลงมาคือ pH 8.0 และ8.5 โดยมีน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 2.1032 และ 2.0954 g/l ตามลำดับ



ภาพ 28 การเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2, 8.0 และ 8.5ที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อนำสาหร่าย *B. braunii* ในระยะ early stationary phase มาสกัดไฮโดรคาร์บอน พบว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหาร CA ที่อุณหภูมิห้อง pH 7.2 มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากกว่าที่อุณหภูมิห้องที่ pH 8.0 และ 8.5 โดยมีค่าเท่ากับ 21.48% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงอุณหภูมิห้องที่ pH 8.0 และ 8.5 มีไฮโดรคาร์บอน 20.13 % และ 9.36 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง (ภาคผนวก จ)

บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

ปริมาณและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *B. braunii*

จากการศึกษาปริมาณของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* มากกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 โดยปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีการเจริญมากที่สุดในจุดเก็บตัวอย่าง 2 ช่วงต้นฤดูฝน(เดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม 2552) จากการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำและสาหร่าย *B. braunii* ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม SPSS พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย ชนิดนี้คือปริมาณฟอสเฟต ซึ่งสอดคล้องกับ Wake and Hillen (1979) ที่กล่าวว่าเมื่อปริมาณฟอสเฟตสูงก็พบ ปริมาณสาหร่าย *B. braunii* สูงขึ้นเช่นกัน ฟอสเฟตเป็นฟอสฟอรัสรูปหนึ่งซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญมีบทบาทต่อกระบวนการต่างๆภายในเซลล์ แพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายสามารถดูดซับออร์โธฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำหลังจากการเติมปุ๋ยฟอสเฟตใหม่ๆได้เร็วกว่าพืชน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งออร์โธฟอสเฟตเป็นสารประกอบรูปที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมีมากจะทำให้พืชน้ำและสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วปกคลุมผิวน้ำ (มั่นสินและมั่นรักษ์, 2545) สำหรับในงานวิจัยเกี่ยวกับสาหร่าย *B. braunii* Casadevall *et al.* (1985) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu โดยอาหารมีปริมาณฟอสเฟตต่างกัน พบว่าในช่วงแรกของการเจริญของสาหร่าย ปริมาณฟอสเฟตในอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสาหร่ายเก็บฟอสเฟตไว้ในเซลล์ในรูป polyphosphate granules หลังจากนั้นสาหร่ายจะปล่อยฟอสเฟตออกมาอย่างต่อเนื่องมากกว่า 85% และจะหยุดปล่อยเมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ และเมื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตเป็น 2 เท่า พบว่าค่าการเจริญจะสูงเป็น 2 เท่า ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้พบว่าช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญอย่างรวดเร็วจนเห็นเป็นฝ้าจะพบปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าช่วงอื่นๆ ช่วงที่พบปริมาณ *B. braunii* สูงก็พบว่าค่าการนำไฟฟ้าและ ค่าความเป็นด่างสูงกว่าช่วงอื่นๆ สอดคล้องกับ Ariyadej *et al.* (2004) ที่กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้าจะบอกถึงอิออนต่างๆที่ละลายในน้ำ ถ้าน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ละลายอยู่มาก แม้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่สามารถบอกให้ทราบถึงชนิดของสารที่อยู่ในน้ำ แต่จะสามารถบอกได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอิออนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็แสดงว่าสารในน้ำเพิ่มขึ้น แต่

ถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าสารในน้ำลดลง ณรงค์ (2525) และค่าความเป็นด่างของน้ำตามธรรมชาติมีสาเหตุใหญ่ๆมาจากองค์ประกอบของอิออน 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ (OH) คาร์บอเนต (CO^{2-}_3) ไบคาร์บอเนต (HCO^{3-}) (เปี่ยมศักดิ์, 2538) และพบว่าค่าความเป็นด่างมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าการนำไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับ (มั่นสินและมั่นรักษ์ , 2545) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า *B. braunii* สามารถเจริญได้ดีในที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงซึ่งสอดคล้องกับ Qin (2005) ซึ่งพบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 33 °C นอกจากนี้ก็มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับ ค่าความเป็นpH และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอีกด้วยโดยพบว่าเมื่อพบการเจริญของสาหร่ายชนิดนี้มากๆก็พบปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูงเช่นกันอาจเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างเก็บในช่วงสายๆที่สาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงและปล่อยออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูง แต่พบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* ความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับ BOD ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนเนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้มักเจริญในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลางมีสารอาหารปานกลาง (Peerapornpisal *et al.*, 2003) ซึ่งค่า BOD ค่อนข้างต่ำ ส่วนปริมาณไนเตรทไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนสาหร่ายส่วนใหญ่มักใช้แอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่าไนเตรทไนโตรเจน (ศิริเพ็ญ, 2543) และแอมโมเนียไนโตรเจนอาจถูกใช้ไปได้ 2 ทางด้วยกันคือสาหร่ายดึงไปใช้เป็นอาหารและใช้ในการสร้างเซลล์หรือถูกแบคทีเรียออโตโทรพเปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรทจึงพบแอมโมเนียในแหล่งน้ำในปริมาณไม่มาก (มั่นสินและมั่นรักษ์ , 2545) ส่วนไนเตรทไนโตรเจนจะต้องถูกใช้อย่างรวดเร็วโดยพืชและสาหร่ายเพราะจะสูญเสียจากการซึมชะละลาย (leaching)ไปได้ง่าย นอกจากนั้นไนเตรทอิออนละลายน้ำได้ดีถูกดูดซับโดยออนุภาคของดินได้น้อย จึงถูกชะและพัดพาไปโดยกระแสน้ำได้ง่าย นอกจากนั้นไนเตรทอิออนส่วนหนึ่งจะถูกใช้โดย denitrifying bacteria ได้เป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งจะระเหยออกจากดินกลับสู่ชั้นบรรยากาศในที่สุดทำให้พบปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในปริมาณน้อยลง (http://th.wikipedai.org/wiki) การศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมี บางประการพบว่าอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันแต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงซึ่งสอดคล้องกับเปี่ยมศักดิ์ (2538)

ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชที่พบในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการเจริญของแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นๆมากกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการรดน้ำใส่ปุ๋ยส่งผลให้มีการชะเอาสารที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำส่งผลให้ปริมาณสาร อาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสูงกว่าในอ่างเก็บ

น้ำแม่เหียะ 3 ปริมาณสารอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระบบนิเวศทางน้ำที่สำคัญ ได้แก่สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งสอดคล้องกับ Ariyadej *et al.* (2004) ซึ่งกล่าวว่าเมื่อสารอาหารมากก็จะพบความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชมากขึ้นด้วย ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 นี้พบทั้งหมด 7 ดิวิชัน 99 สปีชีส์ โดยดิวิชันของสาหร่ายสีเขียว พบจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือดิวิชันของสาหร่ายไดอะตอม และดิวิชันของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ตามลำดับ

คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ ทั้งหมด 6 จุดเก็บตัวอย่าง เป็นระยะเวลา ตั้งแต่เดือนกันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 โดยทำการเก็บตัวอย่างเดือนละ 2 ครั้ง ครอบคลุมทั้งสามฤดูกาล จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยรวมมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีระยะห่างจากกันไม่มากนักทำให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 6 จุดเก็บตัวอย่างพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างนั้นได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมบริเวณรอบๆอ่างเก็บน้ำทำให้สิ่งแวดล้อมและคุณภาพน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลแตกต่างกัน

อุณหภูมิอากาศในการศึกษาคุณภาพน้ำแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันไม่มากนักซึ่งผลที่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่รอบจุดเก็บตัวอย่าง ฤดูกาลและเวลาในการเก็บ ส่วนอุณหภูมิน้ำมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อย ซึ่งอุณหภูมิน้ำมีค่าแตกต่างกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับฤดูกาลและเวลาในการเก็บตัวอย่างรวมถึงลักษณะของแหล่งน้ำ ความกว้าง ความลึก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงในช่วงวันที่ส่องผ่านในลำน้ำ นอกจากนี้พื้นที่ในการเก็บตัวอย่างก็มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิน้ำ เช่นในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีอุณหภูมิต่ำกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 เล็กน้อยเนื่องจากบริเวณรอบๆอ่างเก็บน้ำ มีต้นไม้และหญ้าปกคลุม

ค่า pH มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและแต่ละฤดูกาลไม่มากนัก มีค่าอยู่ในช่วง 6.00-8.55 ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติไม่เกินค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดิน (กองจัดการคุณภาพน้ำ, 2544) สภาพน้ำเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อยจัดได้ว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง (mesotrophic status) (Wetzel, 1983) ซึ่งมีความเหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งค่าความเป็นด่างนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการปนเปื้อนและทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำ ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 41-120 $mg.l^{-}$ ซึ่งแสดงว่าอ่างเก็บน้ำที่ทำการศึกษานี้มีค่าความเป็น

ด่างค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการใส่ปุ๋ยส่งผลให้มีการชะเอาสารที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำทำให้ค่าความเป็นด่างสูงขึ้น

ค่าความขุ่นมีค่าความแตกต่างกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาล มีค่ามากในฤดูฝนเกิดจากการชะหน้าดินลงสู่อ่างเก็บน้ำมีมาก จากนั้นความขุ่นก็ลดลงเมื่อย่างเข้าสู่ฤดูหนาว เพราะการชะล้างของตะกอนต่างๆลดลงและตะกอนที่สะสมอยู่ที่ก้นอ่าง ค่าความขุ่นในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ยกเว้นเว้นในจุดเก็บตัวอย่าง 5 ของเดือนกรกฎาคมที่อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีค่าความขุ่นสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ทั้งสามจุด บริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการไถพรวนดินก่อนที่จะมีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการรดน้ำเป็นประจำส่งผลให้มีการชะเอาดินลงสู่แหล่งน้ำทำให้น้ำขุ่นกว่า ในขณะที่อ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 มีต้นไม้และหญ้าที่เกิดตามธรรมชาติปกคลุมรอบบ่อซึ่งช่วยยึดหน้าดินทำให้ชะตะกอนลงสู่อ่างเก็บน้ำน้อยทำให้น้ำค่อนข้างใส

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำหรือค่า DO พบว่าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ค่า DO ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากปริมาณแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มากกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ยกเว้นเดือนมกราคมทั้งสองครั้งและมิถุนายนครั้งที่ 1 มีค่าDO สูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ทั้งสามจุด ค่า DO มาจากการละลายออกซิเจนจากอากาศ และอีกส่วนหนึ่งมาจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ค่า DO มีความสำคัญต่อสัตว์น้ำเป็นอย่างยิ่ง ถ้าหาก DO ต่ำกว่า 5.0 mg/l^{-1} เป็นเวลานานสัตว์น้ำจะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี (มั่นสินและมั่นรกษ์ 2545) และถ้าต่ำกว่า 3.0 mg/l^{-1} จะถึงจุดวิกฤติที่ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย (นันทนา, 2544) จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเวลา 1 ปียังไม่พบปลาตายหรือสัตว์น้ำชนิดใดตาย แสดงว่าค่า DO ในอ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่งนี้ยังเพียงพอสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์หรือค่า BOD มีความแตกต่างกันทั้งในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาล ในฤดูหนาวและฤดูร้อนค่า BOD มีแนวโน้มสูงกว่าฤดูฝนเนื่องจากปริมาณน้ำฝนค่อนข้างมากทำให้เกิดการเจือจางของสารอินทรีย์รวมถึงจำนวนจุลินทรีย์ด้วย พบว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 ยกเว้นเดือนสิงหาคม มีค่า BOD สูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ทั้งสามจุด ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการใส่ปุ๋ยและรดน้ำส่งผลให้

มีการชะเอาปุ๋ยเคมีที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำทำให้มีสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่า BOD อยู่ในช่วง 0.2-3.6 mg/l^{-1} จัดเป็นแหล่งน้ำประเภท 1-3 (กองจัดคุณภาพน้ำ, 2544)

ค่าการนำไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับอิออนในน้ำซึ่งค่าที่ได้มีผลจากสารอาหารที่มาจากการใส่ปุ๋ยไม้ดอกไม้ประดับทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกันโดยในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 จุด มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการใส่ปุ๋ยและรดน้ำส่งผลให้มีการชะเอาปุ๋ยเคมีที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ 197.1 $\mu S.cm^{-1}$ ซึ่งไม่สูงถึงระดับที่คุณภาพน้ำเป็นมลพิษ (ณรงค์, 2525)

ปริมาณสารอาหารพบว่า ปริมาณ soluble reactive phosphorus (SRP) ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลมีความแตกต่างกัน โดยในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการใส่ปุ๋ยและรดน้ำส่งผลให้มีการชะเอาปุ๋ยเคมีที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำส่งผลให้ปริมาณฟอสเฟตสูงขึ้น

ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน และ แอมโมเนียไนโตรเจน ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันแต่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลทั้งนี้เนื่องมาจากแต่ละฤดูกาลมีการชะล้างสารต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำได้ไม่เท่ากันและในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 เนื่องจากบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการปลูกไม้ดอกไม้ประดับรวมถึงมีการใส่ปุ๋ยและรดน้ำส่งผลให้มีการชะเอาปุ๋ยเคมีที่ใช้ในทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติปกติจะได้รับไนเตรทไนโตรเจนจากดินและการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียโดยแบคทีเรียในกลุ่ม nitrifying bacteria โดยใช้ออกซิเจน ในการศึกษาครั้งนี้มี อยู่ในช่วง ND- 3 .10 $mg.l^{-1}$ ซึ่งถือว่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินกำหนดไว้ไม่ให้เกิน 5 $mg.l^{-1}$ เช่นเดียวกับค่าแอมโมเนียไนโตรเจนซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง ND-0.62 $mg.l^{-1}$

คุณภาพน้ำโดยรวมในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จากการประเมินคุณภาพน้ำตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร ด้วยวิธีการให้คะแนนโดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า DO ค่า BOD ปริมาณสารอาหารได้แก่ ไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน soluble reactive phosphorus และปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* มาประเมินตาม AARL-PC Score พบว่าคุณภาพน้ำโดยทั่วไปไม่แตกต่างกันมากนักในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง และแต่ละฤดูกาล เนื่องจากในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างอยู่ในบริเวณใกล้ๆกันทำให้มีปัจจัยทางกายภาพไม่ต่างกันมากนัก โดยพบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับคุณภาพน้ำดีถึงปานกลาง

สารอาหารน้อยถึงปานกลาง (oligo-mesotrophic status) และคุณภาพน้ำปานกลาง สารอาหารปานกลาง (mesotrophic status) ยกเว้นจุดเก็บในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ในเดือนพฤศจิกายน 2551 คุณภาพน้ำอยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงค่อนข้างเสีย สารอาหารปานกลางถึงมาก (meso-eutrophic status) เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างนี้มีปริมาณสารอาหารสูงโดยเฉพาะแอมโมเนียไนโตรเจน เพราะมีการใส่ปุ๋ยและรดน้ำต้นไม้ในช่วงที่ทำการวิจัยและเก็บตัวอย่าง และเมื่อจัดคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำผิวดินของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 จะอยู่ในระดับ 2-3 สามารถนำมาอุปโภคบริโภค และนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการประปาได้ โดยผ่านกระบวนการบำบัดทั่วไปก่อน

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย พบว่าสาหร่าย *B. braunii* สามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิห้องได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน ซึ่งอุณหภูมิห้องมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่ทำการคัดแยกสาหร่าย คืออยู่ในช่วง 22.5-34.0 °C ทำการเก็บเซลล์เพื่อสกัดหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนเมื่อสาหร่ายเข้าสู่ช่วง early stationary phase ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายมีการสะสมไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด ในการทดลองนี้ทำการเก็บเซลล์เพื่อสกัดไฮโดรคาร์บอนหลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน ในการเก็บเซลล์จะเก็บทั้งน้ำเลี้ยงและเซลล์สาหร่ายจากนั้นนำไประเหยเอาน้ำออกด้วยเครื่อง rotary evaporator เนื่องจากเซลล์สาหร่ายมีขนาดโคโลนีตั้งแต่ 6-120 μm และมีการสะสมน้ำมันไว้ในชั้นของผนังเซลล์ ทำให้ไม่สามารถเก็บเซลล์ด้วยวิธีการกรองด้วยกระดาษกรองหรือปั่นตกตะกอนเซลล์ได้ ซึ่งการปั่นตกตะกอนเซลล์อาจทำให้เซลล์แตกส่งผลต่อการสกัดหาปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่แท้จริงได้ และในการทำแห้งสาหร่าย เลือกการทำแห้งด้วยเครื่อง freeze dryer เนื่องจากให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในการสกัดได้มากกว่าการทำแห้งด้วยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 80 °C (ยศวดี, 2547) จากผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *B. braunii* ที่เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย จะเห็นว่าสาหร่าย *B. braunii* ที่แยกได้ในประเทศไทยซึ่งน้ำมีอุณหภูมิสูงก็สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิห้องซึ่งแตกต่างจาก *B. braunii* ที่แยกจากแหล่งน้ำในต่างประเทศซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (25 °C) (Okada *et al.*, 1995; Metzger *et al.*, 1990) หากมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพในระดับอุตสาหกรรมจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิได้

การที่อาหาร CA สามารถแยกสาหร่ายได้ดีที่สุดอาจเนื่องมาจากมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่จำเพาะต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *B. braunii* ที่แตกต่างจากอาหารสูตรอื่น ดังตาราง 6 จะเห็นว่าอาหาร CA มี NH_4NO_3, HEPES (4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid) และ ß-Na_2glycerophosphate.$5H_2O$ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งไม่มีในอาหาร modified Chu 13 อาจเป็นไปได้ว่าองค์ประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย เมื่อพิจารณา NH_4NO_3 ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่สาหร่ายนำไปใช้ในการเจริญได้ (ลัดดา, 2540)

เนื่องจากแหล่งน้ำที่ทำการแยกสาหร่าย *B. braunii* มี pH ค่อนข้างสูง (pH 8.55) จึงทำการศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อการเจริญของสาหร่าย โดยเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 8.0และ 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าหลังทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มี pH 7.2 มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดซึ่งแตกต่างจากการเพาะเลี้ยงที่ค่า pH อื่นๆ การที่อาหาร CA pH 7.2 ให้การเจริญของสาหร่ายสูงที่สุด ส่งผลต่อปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่สกัดได้ คือมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า pH อื่นๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก pH 7.2 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมของสูตรอาหาร CA ที่เป็นสูตรอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว (Watanabe *et al.*, 2000) จากการทดลองจะเห็นว่าสาหร่าย *B. braunii* สามารถเจริญเติบโตได้ในทุก pH ซึ่งอยู่ในช่วง pH ที่ค่อนข้างสูง (pH 7.2-9.5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dayananda *et al.* (2007) ที่ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในอาหาร modified Chu 13 ที่มีค่า pH 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 และ 8.5 พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ในทุก pH ได้ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ และเคมีบางประการที่มีผลต่อการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *B. braunii* ในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าปริมาณสาหร่าย *B. braunii* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ปริมาณฟอสเฟต ค่าความเป็นด่าง ค่าการไฟฟ้า และค่า pH นั่นคือ ถ้าค่าทั้ง 4 มีค่าสูงสาหร่ายชนิดนี้ก็จะเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ยังไม่มีใครศึกษา ซึ่งสมควรที่จะมีการศึกษาการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการวิจัยต่อไป เพื่อที่จะได้สาหร่ายผลิตน้ำมันชนิดที่สร้างไฮโดรคาร์บอนโดยตรง ที่สามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ความหวังของการได้สาหร่ายที่สร้างน้ำมันสู่ระดับอุตสาหกรรมเป็นไปได้จริง

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

จากการติดตามตรวจสอบการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 บริเวณสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ ในแต่ละอ่างเก็บตัวอย่าง 3 จุด เป็นระยะเวลา 1 ปีตั้งแต่เดือนกันยายน 2551 ถึงเดือนสิงหาคม 2552 โดยทำการเก็บ 2 สัปดาห์ ต่อครั้ง พบว่าอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 มีการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* มากกว่าในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 โดยสาหร่าย *B. braunii* มีการเจริญมากที่สุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 โดยมีการเจริญอย่างรวดเร็วในช่วงต้นฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และพบว่าปริมาณฟอสเฟต ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นด่าง มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางบวกกับการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ($p< 0.01$) และ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดด่างก็มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางบวกกับการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ($p< 0.05$) เช่นกัน แต่ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางลบการเจริญของสาหร่าย *B. braunii* ($p< 0.05$)

จากการศึกษาสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆของอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ระหว่างเดือนกันยายน 2551 ถึง สิงหาคม 2552 พบสาหร่าย *B. braunii* และแพลงก์ตอนพืชอื่นๆ ทั้งหมด 7 ดิวิชั่น 49 จีนัส 99 สปีชีส์ ดิวิชันที่พบสปีชีส์มากสุด คือ Division Chlorophyta 52% รองลงมาคือ Division Bacillariophyta 16% Division Cyanophyta 14% Division Euglenophyta 11% Division Chrysophyta 4% Division Pyrrhophyta 2% และDivision Cryptophyta 1% ตามลำดับ ส่วนในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 3 พบทั้งหมด 7 ดิวิชั่น51 จีนัส 90 สปีชีส์ ดิวิชันที่พบสปีชีส์มากสุดคือDivision Chlorophyta 50% รองลงมาคือ Division Bacillariophyta 18% Division Cyanophyta 15% Division Euglenophyta 11% Division Chrysophyta 3% Division Pyrrhophyta 2% และ Division Cryptophyta 1% ตามลำดับ

คุณภาพน้ำโดยรวมอยู่ในระดับคุณภาพน้ำดีถึงปานกลางสารอาหารน้อยถึงปานกลาง (oligo-mesotrophic status) และคุณภาพน้ำปานกลางสารอาหารปานกลาง (mesotrophic status) ยกเว้นจุดเก็บในอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 ในเดือนพฤศจิกายน 2551 คุณภาพน้ำอยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงค่อนข้างเสียสารอาหารปานกลางถึงมาก (meso-eutrophic status) เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างนี้มีปริมาณสารอาหารสูงโดยเฉพาะแอมโมเนียไนโตรเจนเพราะมีการใส่

ปุ๋ยก่อนช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง และเมื่อจัดคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำผิวดินของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 จะอยู่ในระดับ 2-3 สามารถนำมาอุปโภคบริโภค และนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการประปาได้ โดยผ่านกระบวนการบำบัดทั่วไปก่อน

คัดแยกสาหร่าย *B.braunii* แหล่งน้ำบริเวณสถานีวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ 2 แหล่ง โดยใช้อาหาร 2 สูตร คือ modified Chu 13 และอาหาร CA พบว่าอาหาร CA สามารถแยกเชื้อได้ดีที่สุด สาหร่าย *B. braunii* ซึ่งแยกได้จากอ่างเก็บน้ำแม่เหียะ 2 และเป็นสายพันธุ์ที่เจริญได้เร็วสามารถเจริญที่อุณหภูมิ ห้องได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C และเจริญในอาหาร CA ได้ดีกว่าอาหาร modified Chu 13 จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเจริญของสาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในอาหาร CA ที่มีค่า pH เท่ากับ 7.2, 8.0 และ 8.5 พบว่าสาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 และการเพาะเลี้ยง *B. braunii* ในอาหาร CA ที่มี pH 7.2 ที่อุณหภูมิห้อง ได้ปริมาณไฮโดรคาร์บอน 21.48 %

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2552ก. รายงานฉบับสมบูรณ์ครั้งที่ 1 โครงการรวบรวม สำรวจ เก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนิ่ง.กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมมลพิษ. 2552ข. รายงานฉบับสมบูรณ์ครั้งที่ 2 โครงการรวบรวม สำรวจ เก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนิ่ง. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2543. น้ำ. กองสารสนเทศสิ่งแวดล้อมกรมสิ่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

กรมอนามัย. 2520. มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มและใช้. เอกสารวิชาการอนามัยสิ่งแวดล้อม เล่ม 1. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.

กรมอนามัย. 2534. เกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.

กรมอนามัย. 2537. คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมี. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.

กรองจันทร์ รัตนประดิษฐ์. 2536. การเลี้ยง *Chlorella* T9 ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กองจัดการคุณคุณภาพน้ำ.2544. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2525. มลพิษสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

ธนิศรา อินทโสตถิ. 2549. ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่และไดอะตอมพื้นท้องน้ำในลุ่มน้ำคำครอบคลุมอำเภอแม่จันและอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ระหว่างเดือนตุลาคม 2546-2547. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นพรัตน์ ภาณุวณิชชากร. 2546. การแพร่กระจายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis* spp. และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำลำตะคอง จ.นครราชสีมา ในปี 2543-2544. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นันทนา คชเสนี. 2544. คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

เนติ เงินแพทย์. 2546. การติดตามตรวจสอบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis* spp. และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำหนองหาร จ.สกลนคร ในปี 2543-2544. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บัญญัติ มนเทียรอาสน์. 2533. แพลงก์ตอนวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน เล่ม 111 ตอนที่ 162 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2538. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.

พิษณุ ไชยมงคล. 2552. ความหลากหลายและการกระจายตัวในแนวดิ่งของแพลงก์ตอนที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ จ.ลำพูน ในปี 2551-2552. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. 2539. การศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำที่สำคัญในเขตภาคเหนือในระหว่างปี 2537-2538: รายงานการศึกษา. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสภาพแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

ยุวดี พีรพรพิศาล และฉมาภรณ์ นิวาศะบุตร. 2538. คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2548. สาหร่ายน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2549. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รัฐภูมิ พรหมณะ. 2545. การกระจายของสาหร่ายพิษและคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา จ.พะเยา ในปี 2542 – 2543. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์.2542. แพลงก์ตอนพืช.ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพมหานคร.

วิจิตร รัตนพาณี สายสุนีย์ เหลียวเหลืองรัตน์ และ เสาวนีย์ รัตนพาณี. 2533. การศึกษาและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำจากแหล่งน้ำปิง.ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช. 2542. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิริพงษ์ เกียรติประดับ. 2546. ความหลากหลายของสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จ.ชลบุรี ในปี 2543-2544. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมใจ กาญจนวงศ์. 2532. การจัดการคุณภาพน้ำภาควิชาวิศวกรรมสภาวะแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สายสุนีย์ เหลียวเหลืองรัตน์ เสาวนีย์ รัตนพาณี และสุนันทา วังกานต์. 2539. การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่ปิงตอนบน. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุภาพร แถมพยัคฆ์. 2541. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2541. คุณภาพน้ำการกระจายของแพลงก์ตอนพืชและโคลิฟอร์มแบคทีเรียในอ่างเก็บน้ำสวนล้านนา ร.9 จ.เชียงใหม่. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Ariyadej, C., Tansakul R., Tansakul, P. and Angsupanich, S. 2004. Phytoplankton diversity and its relationships to the physico-chemical environment in the Banglang Reservoir, Yala Province. Songklanakarin Journal of Science Technology. 26 (5): 595-607.

Bold, H.C. and Wynne, M.J. 1985. Introduction to the Algae: Structure and Reproduction. Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Brown, A.C. and Knights, B.A., 1969. Hydrocarbon content and its relationship to physiological state in the green alga *Botryococcus braunii*. Phytochemistry. 8:543–547.

Casadevall, E., Dif, D. and Largeau, C. 1985. Studies on batch and continuous cultures of *Botryococcus braunii*: hydrocarbon production in relation to physiological state, cell ultrastructure, and phosphate nutrition, Biotechnology and Bioengineering. 27:286-295.

Chapman, V.J. and Chapman, D.J.1975.TheAlgae. The Macmillan Press, Ltd., London.

Chiang, I.Z., Huang, W.Y. and Wu, J.T. 2004. Allelochemicals of *Botryococcus braunii* (Chlorophyceae). Journal of Phycology. 40: 474-480.

Chisti, Y. 2007. Bio-oil from microalgae. Biotechnology Advances. 25 : 294-306.

Croasdale, H. Flint, E. A. and Racine, M. M. 1994. Flora of New Zealand: volume III, NewZealand caxton Press, Christchurch.

Dayananda, C., Sarada, R., Kumar, V. and Ravishankar, G.A. 2007. Isolation and characterization of hydrocarbon producing green alga *Botryococcus braunii* from Indian freshwater bodies. Journal of Biotechnology. 10(1): 1-14.

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

Greenberg, A.E., Clescerri, L.S. and Eaton, A.D.1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. American Public Health Association (APHA), Washington DC.

Gudin, C. and Thepnier, C. 1986. Bioconversion of solar energy into organic Chemicals by microalgae. Advances in Biotechnological Processes. 6:73-110.

Hegewald, E. 1978. Eine neue Unterteilung der Gattung Scenedesmus Meyen. Nova Hedwigia 30: 343–376.

Huber-Pestalozzi, G. 1983. Das Phytoplankton des Suβwassers: Chlorophyceae (Grunglgen)Ordnung Chlorococcales, 7. Teil. 1. Hälfte, E. Schweizerbart, sche Verlags Buch Handlung, Stuttgart.

John, D.M., Whitton, B.A. and Brook, A.J. 2002. The Freshwater Algal Flora of the British Isles. Cambridge University Press. Cambridge.

Komárek, J. and Marvan, P. 1992. Morphological differences in natural populations of the genus *Botryococcus* (Chlorophyceae). Arch. Protistenkd. 141: 65-100.

Komarek, J. and Anagnostidis, K. 1999. Cyanoprokaryota: Chroococcales, 1. Teil, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.

Kunpradid, T. and Peerapornpisal, Y. 2003. Water quality monitoring of Ping in 2001-2002. Chiang Mai Journal of Science. 30(3):189-193.

Kojima, E. and Zhang, K. 1999. Growth and hydrocarbon production of microalga *Botryococcus braunii* in bubble column photobioreactors. Journal of Biotechnology and Bioengineering. 87(6): 811- 815.

Komarek, J.and Anagnostidis, K. 1999. Cyanoprokaryota : Chroococcales, 1 . Teil, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.

Lorraine, L.J. and Vollenweider, R.A. 1981. Summary Report , the OECD Cooperative Programme on Eutrophication, National Water Research Institute, Burlington.

Lupi, F.M., Fernandes, H.M.L., Tome, M.M., Sa-Correia, I. and Novais, J.M. 1994. Influence of nitrogen source and photoperiod on exopolysaccharide synthesis by the microalga *Botryococcus braunii* UC 58. Enzyme and Microbial Technology. 16: 546-550.

Maxwell, J.R., Douglas, A.G., Eglinton, G. and Mccormick, A. 1968. The botryococcenes hydrocarbons of novel structure from the alga *Botryococcus braunii* Kützing. Phytochemistry. 7:2157-2171.

Metzger, P., David, M. and Casadevall, E. 1987. Biosynthesis of triterpenoid hydrocarbons in the B race of green alga *Botryococcus braunii* site of production and nature of mrthylating agent. Phytochemistry. 26:129.

Metzger, P., Casadevall, E. and Coute, A. 1988. Botryococcene distribubution in strains of the green alga *Botryococcus braunii* . Phytochemistry. 27(5): 1983-1988.

Metzger, P. and Casadevall, E. 1991. Botryococcoid ethers, ether lipids from *Botryococcus braunii*. Phytochemistry. 30:1439–1444.

Metzger, P., Largeau, C. and Casadevall, E. 1991. Lipid and macromolecular lipids of the hydrocarbon-rich microalga *Botryococcus braunii* Chemical structure and biosynthesis geochemical and biotechnological importance. Progress in the Chemistry of Organic Natural Products, 57 : 1–63.

Metzger, P. and Largeau, C. 2005. *Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and relate ether lipids. Applied Microbiology and Biotechnology, 66 : 486–496.

Mitchell, S.F. 1975. Phosphate, Nitrate and Chloride in a eutrophic coastal lake in New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Fresh Water Research. 9 (2): 98-183.

Okada, S., Murakami, M. and Yamaguchi, K. 1995. Hydrocarbon composition of newly isolated strains of the green microalga *Botryococcus braunii*. Journal of Applied Phycology. 7: 555-559.

Papa, R. D., Wu, J.T., Baldia, S., Cho, C., Cruz, M.A., Saguiguit, A. and Aquino, R. 2008. Bloom of the colonial green algae, *Botryococcus braunii* Kützing in Paoay lake. Philippine Journal of Systematic Biology. 2:21-31.

Peerapornpisal, Y., Chaiubol, C., Kraibut, H., Chorum, M., Wannathong, P., Ngernpat, N., Jusakul, K., Thammathiwat, A., Chuananta, J. and Inthasotti, T. 2003. Monitoring of water quality in Ang Kaew Reservoir of Chiang Mai University by using phytoplankton as bioindicator from 1995- 2002. Chiang Mai Journal of Science 31(1): 85-94.

Pekkoh, J. 2008. Diversity and cyanotoxins of toxic cyanobacteria in some water resources of Thailand. Ph.D. Thesis. Department of Biology, Faculty of Science. Chiang Mai University.

Prescott, G.W. 1970. How to Know Fresh Water Algae, The Picture Key Nature Series W.M.C. Brown Company Publishers, Dubugue. Iowa.

Qin, J. 2005. Bio-Hydrocarbon from Algae: Impact of temperature, light and salinity on algae growth. Rural Industries Research and Development Corporation, Australia.

Rao, R.A., Dayananda, C., Sarada, R., Shamala, T.R. and Ravishankar, G.A. 2007. Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents. Bioresource Technology. 98: 560-564.

Richmond, A. 1986. Handbook of Microalgal Mass Culture. CRC Press, Inc., Florida.

Sawayama, S., Inoue, S. and Yokoyama, S. 1995. Phylogenetic position of *Botryococcus braunii* based on small subunit of ribosomal RNA sequence data, Journal of Phycology. 31: 419-425.

Vongprasert, R. 1986. Baseline for the Cultivation of Native Oil Rich Alga (*Botryococcus braunii*), as the Potential Source of the Biocrude Oil Productions in Thailand. Thesis of Master of Science Technology of Environmental Management. Mahidol University, Bangkok.

Wake, L.V. and Hillen, L.W. 1979. Nature and hydrocarbon content of blooms of the alga *Botryococcus braunii* occurring in Australian freshwater lakes. Australian Journal of Marine and Fresh Water Research. 32 (3): 353–367.

Wetzel, R.E. 1983. Limnology. Saunder College Publisher. Philadephia.

Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems, Academic Perss, New York.

Whitford, L. A.and Schumacher, G. J. 1969. A Manual of the Fresh-water Algae in North Carolina. The North Carolina Agricultural Experriment Sation. North Carolina.

Whitton, B.A., Rott, E. and Friedrich, G. 1991. Use of Algae for Monitoring Rivers. Institute of Botanic. Innsbruck University. Innsbruck.

Wolf, F. R., Nonomura, A. M. and Bassham, J. A. 1985. Growth and branched hydrocarb on production in strain of *Botryocoocus bruanii* (Chorophyta). Journal of Phycology. 21: 388-396.

Wu, J.T., Chiang, W.Y. Huang, and Jane W.N., 2006. Cytotoxic effects of free fatty acids on phytophankton algae and cyanobacteria. Aquat. Toxicolo. 80: 338-345.

Yang, S.,Wang, J., Cong,W., Cai, Z. and Ouyang, F. 2004. Effects of bisulfite and sulfite on the microalga *Botryococcus braunii*. Enzyme and Microbial Technology. 35: 46-50.

Zhang, K. and Kojima, I. 1998. Effect of light intensity on colony size of microalga *Botryococcus braunii* in bubble column photobioreactors. Journal of Fermentation and Bioengineering. 86: 573-576.

http://th.wikipedai.org/wiki

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์น้ำทางด้านเคมี (Greenberg *et al.*1992)

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) โดยวิธีการ azide modification method

1.1 ล้างขวด BOD ด้วยน้ำตัวอย่าง 2-3 ครั้ง

1.2 เก็บน้ำตัวอย่างด้วยขวด BOD ที่ระดับความลึกประมาณ 30 cm โดยระวังไม่ให้มีฟองอากาศและปิดฝาขวดให้สนิทขณะอยู่ในน้ำ

1.3 เติมสารละลาย $MnSO_4$ 1 ml และสารละลาย alkali - iodide azide reagent 1 ml ปิดฝาและเขย่าขวดจนเริ่มตกตะกอน

1.4 เติม conc. H_2SO_4 1 ml ปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน

1.5 รินสารละลายที่ได้ ปริมาตร 10 ml. ใส่ใน flask ไตเตรทด้วย $Na_2S_2O_3$ 0.02 N จนได้สีเหลืองจางๆ แล้วเติมน้ำแป้ง 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วไตเตรทต่อไปจนได้สีน้ำเงินจางหายไป จดปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ แล้วนำไปคำนวนตามสูตร

$$DO\ (mg.l^{-1}) = \frac{A \times N \times 8 \times 1000 / (B_2(B_1-2)}{B_1}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท (ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (N)

B_1= ปริมาตรของน้ำตัวอย่างเริ่มต้น (ml)

B_2= ปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรท (ml)

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (biochemical oxygen demand, BOD) โดยวิธีการ azide modification method

2.1 ล้าง BOD ชนิดขวดดำ ด้วยน้ำตัวอย่าง 2-3 ครั้ง

2.2 เก็บน้ำตัวอย่างด้วยขวด BOD ดำ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

2.3 นำขวด BOD ที่เก็บน้ำตัวอย่างเรียบร้อย ใส่ในตู้ 20 $^{\circ}$C เป็นเวลา 5 วัน

2.4 เติมสารละลายและทำการไตเตรทเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.5 คำนวณตามสูตร

$$BOD\ (mg.l^{-1}) = \text{ค่า DO ในวันแรก} - \text{DO วันที่ 5}$$

3. วิธีวิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำโดยวิธี phenolphthalein methyl orange indicator

3.1 ตวงน้ำตัวอย่าง 100 ml. ใส่ใน flask ขนาด 250 ml.

3.2 เติม phenolphthalein indicator 3 หยด ลงใน flask เขย่าให้เข้ากัน

3.3 เติม methyl orange indicator 3 หยด ลงใน flask เขย่าให้เข้ากัน

3.4 ไตเตรทด้วย 0.02 N H_2SO_4 จนได้จุดยุติเป็นสีส้มแดง จดปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้

3.5 คำนวณตามสูตร

$$\text{total alkalinity } (mg.l^{-1} \text{ as } CaCO_3) = \frac{A \times N \times 50 \times 1000}{B}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟุริคที่ใช้ในการไตเตรต (ml)

N= ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 (N)

B=ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (ml)

4. วิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร โดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีจำเพาะกับ spectrophotometer ของ Hach company รุ่น DR 2010 ตามวิธีของ (Greenberg *et al.* 1992)

4.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ammonium- nitrogen)

4.1.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ flask ขนาด 150 ml และตวงน้ำ deionized ปริมาตร 25 ml ใส่ใน flask 150 ml อีก flask

4.1.2 เปิดเครื่อง spectrophotometer DR/2010 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF – TEST เครื่องจะแสดง Method ให้กด 380 READ/ENTER เครื่องมือจะแสดงความยาวคลื่น 425 nm หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 425 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง $mg.l^{-1}$ N NH_3Ness

4.1.3 ใส่ mineral stabilizer ใน flask น้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 3 หยด เขย่าเบาๆ จากนั้นเติม polyvinyl alcohol dispersing agent 3 หยด เขย่าให้สารเคมีผสมกัน

4.1.4 เติม Nessler reagent 1 ml ลงใน flask ทั้งสอง เขย่าให้สารเคมีผสมกัน

4.1.5 กด SHIFT TIMER เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

4.1.6 รินน้ำใน flask ที่เป็นน้ำ deionized ลงใน cuvette ใส่ลงไปในช่องวัดแสง ปิดฝา แล้ว กด ZERO เครื่องมือจะแสดง Wait และ 0.00 $mg.l^{-1}$ NH_3Ness

4.1.7 เปลี่ยน cuvette เป็นน้ำตัวอย่าง กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณแอมโมเนียมได้ในช่วง 0.00-2.5 $mg.l^{-1}$ NH_3 - N

4.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

4.2.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ใน flask 150 ml 2 flask ใน flask แรกใส่ NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow อีก flask ไม่ต้องเติมสารใดๆ

4.2.2 เปิด spectrophotometer DR/2010 หลังจากเครื่องมือผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้ว เครื่องมือแสดง Method ให้กด 355 READ/ENTER เครื่องมือแสดงความยาวคลื่น 500 nm ให้หมุนปรับความยาวคลื่นให้ได้ 500 nm จากนั้นกดREAD/ENTERเครื่องมือจะแสดง $mg.l^{-1}$ N NO_3-N

4.2.3 รินน้ำตัวอย่างใน flask แรกใส่ cuvette กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า cuvette เมื่อครบ 1 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนหยุดเขย่า กด SHIFT TIMER อีกครั้งและตั้ง cuvette ทิ้งไว้ เมื่อครบ 5 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือนอีกครั้ง และแสดง $mg.l^{-1}$ NO_3-N

4.2.4 เปิดฝาเครื่องมือใส่ cuvette ที่ไม่ได้เติมสารใดๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง WAIT และ 0.00 $mg.l^{-1}$ N NO_3 – H ให้เปลี่ยน cuvette ที่ใส่ Nitra Ver 5 Nitrate Reagent Power Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ได้ในช่วง 0.00-30.0 $mg.l^{-1}$ NO_3-N

4.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณ Soluble reactive phosphorus (SRP)

4.3.1 ก่อนทำการวิเคราะห์ SPR ทุกครั้ง ล้างเครื่องแก้วที่จะใช้ด้วย 10% HCl กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ใน flask โดย flask แรกใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Power Pillow อีก flask หนึ่งเอาไว้เปรียบเทียบ ไม่ต้องเติมสารใดๆ

4.3.2 เปิด spectrophotometer DR/2010 หลังจากผ่านขั้นตอน SELF-TEST แล้ว เครื่องมือแสดง Method ให้กด 890 READ/ENTER เมื่อเครื่องมือแสดงความยาวคลื่น 890 nm ให้หมุนปุ่มปรับความยาวคลื่นให้ได้ 890 nm จากนั้นกด READ/ENTER เครื่องมือจะแสดง $mg.l^{-1}$ PO_4^{3-} PV หรือ $mg.l^{-1}$ P PV

4.3.3 รินน้ำใส่ flask แรกที่เติม PhosVer 3 Phosphate Reagent Power Pillow ลงใน cuvette กด SHIFT TIMER แล้วเขย่า cuvette เมื่อครบ 2 นาที เครื่องมือจะส่งเสียงเตือน

4.3.4 เปิดฝาเครื่องใส่ cuvette ที่ไม่ได้เติมสารใดๆ ลงในช่องวัดแสง ปิดฝาเครื่องมือให้สนิท กด ZERO เครื่องมือแสดง WAIT และ 0.00 $mg.l^{-1}$ PO_4^{3-} PV หรือ $mg.l^{-1}$ P PV เปลี่ยน

cuvette ที่ใส่ PhosVer 3 Phosphate Reagent Power Pillow เข้าไป กด READ/ENTER เครื่องมือแสดง WAIT และบอกปริมาณออร์โธฟอสเฟต เครื่องมือนี้สามารถวัดปริมาณออร์โธฟอสเฟตได้ช่วง 0.00-0.25 $mg.l^{-1}$ PO_4^{3-}

การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ *เอ* (ISO, 1975 ดัดแปลงโดย ยุวดีและฉมาภรณ์, 2538)

วิธีการวิเคราะห์

1. วัดปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1 l นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C
2. เตรียมเอธานอล 90% แล้วอุ่นให้ร้อนในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 78 °C
3. นำกระดาษกรองจากข้อ 1. มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง ค่อยๆ เติมเอธานอลขณะบดใช้เอธานอลประมาณ 10 ml เมื่อเสร็จแล้วเทใส่ขวดสีชา ปิดฝา เก็บในตู้เย็นนาน 6-24 ชั่วโมง
4. กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C อีกครั้งหนึ่ง จะได้ของเหลวใสสีเขียว เติมเอธานอลจนครบ 20 ml
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 665 nm เป็นค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมกรดเกลือ ค่านี้จะเป็นค่าการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ *เอ* รวมกับรงควัตถุอื่นๆ
6. เทของเหลวที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงกลับลงหลอดแก้วอีกครั้งหนึ่ง เติมกรดเกลือ 2 N 0.06 ml เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 665 nm ค่าที่ได้จะเป็นค่าการดูดกลืนแสงของรงควัตถุอื่นๆ ที่ไม่ใช่คลอโรฟิลล์ *เอ*
5. คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ตามสูตร

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ } เอ \ (\mu g.l^{-1}) = \frac{29.6 \times (A-B) \times v}{V \times L}$$

A = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนการเติมกรดเกลือ

B = ค่าการดูดกลืนแสงหลังการเติมกรดเกลือ

v = ปริมาตรเอธานอลที่ใช้ทั้งหมด (ml)

V = ปริมาตรของน้ำที่นำมาหาคลอโรฟิลล์ *เอ* ทั้งหมด (l)

L = ความกว้างของหลอดที่ใส่สารสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (cm)

ภาคผนวก ข

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

มาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีอำนาจประกาศในราชกิจจานุเบกษา กำหนดมาตราฐานคุณภาพน้ำในแม่น้ำลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ ที่อยู่ในพื้นแผ่นดิน

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ได้แบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดินเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติ โดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ น้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและอุปโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อนและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ตาราง 7 ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	การแบ่งคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ ประเภท				
				1	2	3	4	5
1.	สี กลิ่นและรส		-	ธ	ธ	ธ	ธ	-
2.	อุณหภูมิ		°ซ	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-
3.	ความเป็นกรดด่าง (pH)		-	ธ	5-9.	5-9	5-9	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)	P20	มก./ล.	ธ	<6.0	<4.0	<2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	P80	"	ธ	>1.5	>2.0	>4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (total coloform)	P80	MPN/100ml	ธ	<5000	>20000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (fecal coliform bacteria)	P80	"	ธ	>1000	>4000	-	-
8.	ไนเตรต (NO_3)ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล.	ธ	มีค่าไม่เกินกว่า		5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3)ในหน่วยไนโตรเจน		"	ธ	"		0.5	-
10.	ฟีนอล (Phenols)		"	ธ	"		0.005	-
11.	ทองแดง (Cu)		"	ธ	"		0.1	-
12.	นิคเกิล (Ni)		"	ธ	"		0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)		"	ธ	"		1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)		"	ธ	"		1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)			ธ	"		0.005*	-
16.	โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)		"	ธ	"		0.05**	-
17.	ตะกั่ว (Pb)		"	ธ	"		0.05	-
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		"	ธ	"		0.05	-
19.	สารหนู (As)			ธ	"		0.01	-
20.	ไซยาไนด์ (Cyanide)			ธ	"		0.005	-
21.	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)							-
	- ค่ารังสีแอลฟ่า (Alpha)		เบคเคอรอล/ล.	ธ		"	0.1	-
	- ค่ารังสีเบตา (Beta)		"	ธ		"	1.0	-
22.	สารฆ่าสัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)		มก./ล.	ธ		"	0.05	
23.	ดีดีที (DDT)			ธ		"	1.0	-
24.	บีเอชซีชนิดแอลฟ่า (Alpha BHC)		ไมโครกรัม/ล.	ธ		"	0.02	-
25.	ดิลดริน (Aldrin)			ธ		"	0.1	-
26.	อัลดริน (Alcdrin)			ธ		"	0.1	-
27.	เอบตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor & Heptachlo epoxide)			ธ		"	0.2	-
28.	เอนดริน (Endrin)			ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ ตามวิธีที่ตรวจสอบที่กำหนด			-

แหล่งที่มาของข้อมูล : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ 2535 เรื่อง กำหนดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

หมายเหตุ

1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติและแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ′ อุณหภูมิของน้ำต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 °C

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 mg/l

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 mg/l

< ไม่น้อยกว่า

> ไม่มากกว่า

\- ไม่ได้กำหนด

°ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร มล. = มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

ตาราง 8 การจัดชั้นน้ำตามระดับความมากน้อยของฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจน คลอโรฟิลล์ เอ และความลึกที่แสงส่องถึง (Lorraine and Vollenweider, 1981)

Variable (Annual Mean Values)		Oligotrophic	esotrophic	Eutrophic	Hypereutrophic
Total	$\bar{X}$	8.0	26.7	84.4	
phosphorus	X ± 1 s.d.	4.85-13.3	14.5-49	38-189	
$mg.m^{-3}$	X ± 2 s.d.	2.9-22.1	7.9-90.8	16.8-424	
	Range	3.0-17.7	10.9-95.6	16.2-386	750-1200
	N	21	19(21)	71(72)	2
Total nitrogen	$\bar{X}$	661	753	1875	
$mg.m^{-3}$	X ± 1 s.d.	371-1180	485-1170	861-4081	
	X ± 2 s.d.	208-2103	313-1816	385-8913	
	Range	307-1630	361-1387	393-6100	100-150
	N	11	8	37(38)	2
Chlorophyll a	$\bar{X}$	4.2	16.1	42.6	
$mg.m^{-3}$	X ± 1 s.d.	2.6-7.6	8.9-29	16.9-107	
	X ± 2 s.d.	1.5-13	4.9-52.5	6.7-270	
	Range	1.3-10.6	4.9-19.5	9.5-275	
	N	16	12	46	
Secchi Depth	$\bar{X}$	9.9	4.2	2.45	
m.	X ± 1 s.d.	5.9-16.5	2.7-7.4	1.5-4.0	
	X ± 2 s.d.	3.6-27.5	14-13	0.9-6.7	
	Range	5.4-28.3	1.5-8.1	0.8-7.0	0.4-0.5
	N	13	20	70(72)	2

ตาราง 9 การจัดชั้นน้ำตามระดับความมากน้อยของสารอาหาร คุณสมบัติน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพบางประการ และกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชที่พบเป็นชนิดเด่นในชั้นน้ำระดับต่างๆ (Wetzel, 2001)

General Lake Trophy	Water Characteristics	Dominant Algae	Other Commonly Occuring Algae
Oligotrophic	Slightly acidic; very salinity	Demids *Staurodesmus, Staurastrum*	*Sphaerocystis,Gloeocystis, Rhizosolenia, Tabellaria*
Oligotrophic	Neutral to slightly alkaline; Nutrient-poor lakes	Diatoms, especially, *Cymbella* and *Tabellaria*	Some *Asterionella* spp., some *Melosira* spp., *Dinobryon*
Oligotrophic	Neutral to slightly alkaline; Nutrient-poor lakes or more Productive lakes at seasons of Nutrient reduction	Chrysophycean algae, especially *Dinobryon*, some *Mallomonas*	Other Chrysophycean, e.g. *Synura, Uroglena* : diatom *Tabellaria*
Oligotrophic	Neutral to slight alkaline; Nutrient-poor lakes	Chlorococcal *Oocystis* or Chrysophycean *Botryococcus*	Oligotrophic diatoms
Oligotrophic	Neutral to slight alkaline; Generally nutrient-poor; common in shallow Arctic lakes	Dinoflagellates,especially some *Peridinium* and *Ceratium* spp.	Small chrysophytes cryptophytes and diatoms
Mesotrophic or Eutrophic	Neutral to slightly alkaline; annual dominants or in eutrophic lakes at certain seasons	Dinoflagellates, some *Peridinium* and *Ceratium* spp.	*Glenodinium* and many other algae
Eutrophic	Usually alkaline lakes with nutrient enrichment	Diatoms much of year, especially *Asterionella* spp., *Fragillaria crotonensis, Synedra, Stephanodiscus* and *Melosira granulata*	Many other algae, especially green and blue-green during warmer periods of year; desmids of dissolved orgaic matter is fairly high
Eutrophic	Usually alkaline; nutrient enriched; common I warmer periods of temperature lakes or perennially in enriched trophic lakes	Blue-green algae, especially *Anacystis*(=*Microcystis*), *Aphanizomenon*, *Anabaena*	Other blue-green; euglenophytes if organically enriched or polluted

การประเมินคุณภาพน้ำในระบบนิเวศน้ำนิ่งโดยใช้ลำดับคะแนนอย่างง่าย AARL-PC score

(AARL = Applied Algal Research Laboratory, PC = Physical and chemical)

การประเมินคุณภาพน้ำดังกล่าวนี้ ได้ใช้พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพบางประการ โดยประยุกต์มาจากมาตรฐานคุณภาพน้ำของ Lorraine and Vollenweider (1981) Wetzel (2001) และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 มาประเมินร่วมกัน โดยพารามิเตอร์ที่เป็นพื้นฐานทั่วไปของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ซึ่งได้แก่

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO)
2. ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ (BOD)
3. ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity)
4. ปริมาณสารอาหาร ได้แก่
   4.1 ไนเตรท ไนโตรเจน
   4.2 แอมโมเนียมไนโตรเจน
   4.3 ออร์โธฟอสเฟต หรือ soluble reactive phosphorus
5. ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ*

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ว่ามีมากน้อยเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำแหล่งหนึ่งๆ ตลอดการวิจัยควรจะใช้ค่ามาตรฐานจากการคำนวณนี้ให้เหมือนกันทุกครั้ง วิธีการมีดังนี้ จากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของ Lorraine and Vollenweider (1981) Wetzel (2001) และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 จะทำให้ทราบว่าในแหล่งน้ำที่ทำการศึกษา แต่ละพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ควรมีค่าสูงสุด และต่ำสุดเท่าใด ในที่นี้อาจใช้ตำราที่เขียนเกี่ยวกับคุณภาพของแหล่งน้ำในประเทศไทย ประเภทต่างๆ จะมีความเหมาะสมมาก

เมื่อได้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละพารามิเตอร์แล้วนำมาจัดเป็นลำดับตัวเลขซึ่งจะใช้เป็นคะแนนมาตรฐาน โดยค่าที่แสดงคุณภาพน้ำด้านที่ดีสูงสุด จะมีคะแนนเป็น 0.1 และค่าที่แสดงคุณภาพน้ำด้านที่เสียต่ำสุดเป็น 1 หรืออาจจะใช้คะแนนมากกว่าคะแนนด้านที่ดีสูงสุดเป็น 0.1 และคะแนนน้อยกว่าคะแนนด้านที่เสียต่ำสุดเป็น 1 ก็ได้ ในกรณีที่มีตัวเลขในแต่ละพารามิเตอร์มาก แต่คะแนนมาตรฐานมีเพียง 10 ชั้น คือ 0.1-1.0 ให้จัดกลุ่มตัวเลขในพารามิเตอร์นั้นๆ ให้เป็น อันตรภาคชั้นแต่ละชั้น ให้มีความเหมาะสมแล้วจึงจัดคะแนนมาตรฐานของแต่ละอันตรภาคชั้น

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคะแนนมาตรฐาน

ตารางที่ 10.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
มากกว่า 9	0.1
8-9	0.2
7-8	0.3
6-7	0.4
5-6	0.5
4-5	0.6
3-4	0.7
2-3	0.8
1-2	0.9
น้อยกว่า 1และมากกว่า 9 ในการเก็บตัวอย่างช่วงบ่าย	1.0

ตารางที่ 10.2 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.2	0.1
0.2-0.5	0.2
0.5-1.5	0.3
1.5-3	0.4
3-5	0.5
5-8	0.6
8-15	0.7
15-30	0.8
30-50	0.9
มากกว่า 50	1.0

ตารางที่ 10.3 ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)

ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S.cm^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 10	0.1
10-20	0.2
20-40	0.3
40-80	0.4
80-120	0.5
120-200	0.6
200-300	0.7
300-450	0.8
450-700	0.9
มากกว่า 700	1.0

ตารางที่10.4 ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.1	0.1
0.1-0.2	0.2
0.2-0.4	0.3
0.4-0.8	0.4
0.8-1.5	0.5
1.5-3.0	0.6
3.0-10.0	0.7
10.0-20.0	0.8
20.0-40.0	0.9
มากกว่า 40.0	1.0

ตารางที่ 10.5 ปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจน ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01-0.03	0.2
0.03-0.06	0.3
0.06-0.10	0.4
0.10-0.30	0.5
0.30-0.50	0.6
0.50-0.70	0.7
0.70-1.0	0.8
1.0-3.0	0.9
มากกว่า 3.0	1.0

ตารางที่ 10.6 ปริมาณ Soluble Reactive Phosphorus ($mg.l^{-1}$)

ปริมาณ Soluble Reactive Phosphorus ($mg.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 0.01	0.1
0.01-0.05	0.2
0.05-0.10	0.3
0.1-0.15	0.4
0.15-0.25	0.5
0.25-0.35	0.6
0.35-0.50	0.7
0.50-1.25	0.8
1.25-2.5	0.9
มากกว่า 2.5	1.0

ตารางที่ 10.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ($\mu g.l^{-1}$)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ($\mu g.l^{-1}$)	คะแนนมาตรฐาน
น้อยกว่า 1	0.1
1.0-2.0	0.2
2.0-5.0	0.3
5.0-15.0	0.4
15.0-25.0	0.5
35.0-50.0	0.6
50.0-100.0	0.7
100.0-200.0	0.8
200.0-400.0	0.9
มากกว่า 400.0	1.0

จากนั้นจะทำการแบ่งชั้นคุณภาพน้ำ โดยใช้ตัวเลขต่ำสุดที่ควรจะเป็นได้ คือ 0.1 และสูงสุดที่ควรจะเป็นซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้วัด เช่น ถ้าใช้ 6 พารามิเตอร์ ตัวเลขสูงสุดจะเป็น 6.0 ถ้าใช้ 5 พารามิเตอร์ ตัวเลขสูงสุดจะเป็น 5.0 เป็นต้น แล้วนำมาจัดอันตรภาคชั้นออกเป็น 7 ลำดับ โดยมีความถี่เท่ากัน แล้วจัดคุณภาพน้ำแต่ละลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 11 คะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนน	คุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร	คุณภาพน้ำทั่วไป
น้อยกว่า 1.1	ultraoligotrophic status	คุณภาพน้ำดีมาก
1.2-1.8	oligotrophic status	คุณภาพน้ำดี
1.9-2.5	oligotrophic-mesotrophic status	คุณภาพน้ำดีปานกลาง
2.6-3.2	mesotrophic status	คุณภาพน้ำปานกลาง
3.3-4.9	mesotrophic-eutrophic status	คุณภาพน้ำปานกลางค่อนข้างเสีย
5.0-5.6	eutrophic status	คุณภาพน้ำเสีย
มากกว่า 6.6	hypereutrophic status	คุณภาพน้ำเสียมาก

ภาคผนวก ค

ตาราง 12 ปริมาณ *B. braunii* Kützing (colony.l^{-1}) และจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3

วันที่เก็บตัวอย่าง	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
13-ก.ย. -51	300	600	300	300	300	0.00
28-ก.ย.-51	300	600	300	300	300	300
11-ต.ค.-51	3531.00	3428	3500	300	300	300
26-ต.ค.-51	4500.00	3890.00	3590.00	300.00	300.00	0.00
9-พ.ย.-51	600.00	1200.00	1500.00	300.00	600.00	0.00
23-พ.ย.-51	300.00	1800.00	900	0.00	600	2700
7-ธ.ค.-51	600.00	900.00	900.00	300.00	600.00	1200.00
21-ธ.ค.-51	5490.00	6080.00	4369.00	2100.00	1500.00	1200.00
4-ม.ค.-52	2350.00	3670.00	2390.00	0.00	2700.00	0.00
18-ม.ค. -52	5800.00	4800.00	3200.00	0.00	0.00	300.00
31-ม.ค.-52	7800.00	7000.00	6300.00	0.00	300.00	1500.00
14-ก.พ.-52	5430.00	5300.00	3790.00	50.00	200.00	207.00
28-ก.พ.-52	6580.00	6798.00	4530.00	120.00	56.00	87.00
15-มี.ค.-52	123.00	547.00	342.00	342.00	79.00	98.00
28-มี.ค.-52	234.00	287.00	305.00	127.00	54.00	68.00
11-เม.ย.-52	1560.00	2450.00	3200.00	89.00	107.00	123.00
25-เม.ย.-52	2500	3900	3250	542	78	124
9-พ.ค.-52	8900	10056	8690	762	654	90
23-พ.ค.-52	15000	40500	32700	234	98	64
6-มิ.ย. -52	3460	3500	3200	566	438	363
21-มิ.ย.-52	20400	31700	23490	420	560	324
6-ก.ค.-52	4320	6450	8500	236	135	215
18-ก.ค.-52	15000	13100	12050	300	220	150
1-ส.ค. -52	2350	5000	4002	190	700	123
15-ส.ค. -52	1200	3000	1345	420	640	328

ตาราง 13 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 1 (13-ก.ย. -51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	31.00	32.17	167.57	8.00	3.00	7.84	63.67	28.00	0.01	0.60	0.01	4.40
2	31.00	30.33	164.67	8.00	2.87	8.35	63.00	42.00	0.01	0.60	0.10	6.60
3	33.00	34.00	167.00	6.80	2.80	7.91	61.67	58.00	0.01	3.10	0.01	6.64
4	31.00	31.00	157.00	6.80	1.60	7.74	57.67	25.00	0.01	1.70	0.08	5.24
5	32.00	32.50	157.00	7.60	2.00	7.56	57.67	20.00	0.01	0.90	0.04	4.92
6	32.00	30.00	157.67	6.00	2.00	6.00	56.67	14.00	0.01	1.30	0.10	5.80

ตาราง 14 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 2 (28-ก.ย.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO(mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	33.00	32.00	166.87	6.40	3.00	8.11	62.33	35.00	0.09	0.60	0.01	5.72
2	33.00	33.00	169.93	6.47	2.93	8.30	62.00	40.00	0.08	0.50	0.09	7.96
3	33.40	33.00	197.13	7.60	2.53	8.33	63.00	48.00	0.10	2.80	0.03	7.92
4	32.00	33.00	154.83	4.60	1.80	7.62	57.33	20.00	0.01	1.30	0.05	8.84
5	33.00	33.00	199.17	4.60	2.00	7.63	58.00	18.00	0.02	0.50	0.04	7.00
6	33.63	33.00	186.67	4.80	2.00	7.65	56.67	17.00	0.01	1.00	0.09	4.80

ตาราง 15 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 3 (11-ต.ค.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{o}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{o}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	31.00	31.00	167.57	8.00	3.40	7.84	63.67	38.00	0.10	0.80	0.01	12.32
2	31.00	31.00	164.67	8.00	3.20	8.35	63.00	42.00	0.10	0.80	0.11	10.08
3	33.00	33.00	167.00	6.80	2.60	7.91	61.67	58.00	0.10	3.10	0.01	11.44
4	31.00	31.00	157.00	6.80	1.80	7.76	57.67	25.00	0.01	1.70	0.08	10.64
5	32.00	32.00	157.00	7.60	2.00	7.56	57.67	20.00	0.02	0.90	0.04	9.16
6	32.00	32.00	157.67	6.00	2.00	6.00	56.67	14.00	0.01	1.30	0.10	10.64

ตาราง 16 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 4 (26-ต.ค.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{o}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{o}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	29.50	32.00	156.33	7.40	7.40	7.40	85.00	40.67	0.11	1.40	0.15	10.12
2	29.97	34.00	158.00	6.27	6.27	7.90	85.00	48.00	0.28	1.40	0.09	8.44
3	29.93	35.00	163.00	6.40	6.40	7.82	85.00	33.00	0.16	1.90	0.08	10.60
4	29.93	34.00	150.00	4.00	4.00	7.84	82.00	26.00	0.15	1.00	0.67	8.84
5	30.13	34.00	150.00	4.00	4.00	7.71	79.00	14.00	0.15	1.10	0.16	9.24
6	29.80	34.00	150.00	3.80	3.80	7.70	85.00	4.00	0.15	1.00	0.16	9.28

ตาราง 17 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 5 (9-พ.ย.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.00	30.00	151.00	6.47	1.53	7.39	90.00	61.33	0.05	0.60	0.04	8.88
2	29.00	30.00	155.87	6.40	2.80	7.62	87.00	43.00	0.02	0.70	0.00	9.76
3	28.00	29.00	153.77	6.40	2.40	7.91	85.00	41.00	0.06	0.60	0.03	10.52
4	27.50	29.00	141.30	5.13	1.13	7.97	81.00	20.00	0.04	1.30	0.31	7.96
5	29.00	30.00	155.90	4.80	1.80	7.85	78.00	12.00	0.01	0.20	0.16	9.76
6	29.00	30.00	151.77	4.80	1.60	7.59	76.00	9.00	0.04	1.50	0.00	8.80

ตาราง 18 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 6 (23-พ.ย.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	26.00	27.00	144.33	7.40	3.20	8.50	79.00	84.00	0.17	2.60	0.01	8.32
2	27.00	26.00	147.20	7.40	3.40	8.07	51.00	87.00	0.12	2.30	0.62	11.92
3	27.00	27.00	148.90	9.00	3.00	7.76	58.00	67.00	0.09	2.10	0.06	4.92
4	28.00	27.00	136.10	6.47	2.00	7.52	66.00	78.00	0.01	1.60	0.04	9.72
5	29.00	30.00	152.50	6.60	2.20	7.76	50.00	79.00	0.03	1.40	0.05	8.36
6	29.00	30.00	147.20	6.00	2.20	7.93	41.00	80.00	0.07	1.50	0.07	7.96

ตาราง 19 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 7 (7-ธ.ค.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	25.50	27.00	147.00	7.00	3.00	7.22	101.33	78.00	0.08	0.50	0.31	0.00
2	26.50	27.50	147.33	7.00	3.00	6.96	106.67	50.00	0.10	0.40	0.06	5.92
3	26.50	27.50	150.00	8.00	3.00	7.51	101.67	43.00	0.06	1.20	0.02	0.00
4	26.50	27.50	140.43	6.40	1.40	7.73	91.00	26.00	0.04	0.40	0.03	2.96
5	27.00	28.00	150.40	6.60	1.80	7.74	92.00	28.00	0.06	1.30	0.01	4.44
6	27.57	27.00	140.37	6.20	1.20	7.38	90.67	22.00	0.03	0.80	0.05	1.48

ตาราง 20 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 8 (21-ธ.ค.-51)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	24.00	24.00	145.00	7.00	3.40	7.50	90.00	47.00	0.25	0.40	0.05	10.36
2	24.00	25.00	148.50	6.60	3.20	7.58	83.33	51.00	0.25	0.70	0.02	17.76
3	24.00	25.00	149.00	6.60	3.20	7.66	80.00	34.00	0.23	1.70	0.12	13.32
4	24.00	22.50	139.50	6.00	2.00	7.62	80.00	14.00	0.01	1.00	0.07	2.96
5	24.00	23.00	151.10	6.00	2.00	7.64	82.00	10.00	0.01	1.30	0.12	8.88
6	25.00	24.50	140.50	6.00	2.00	7.59	75.00	15.00	0.01	0.80	0.05	5.92

ตาราง 21 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 9 (4-ม.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	25.00	26.00	156.00	7.00	2.40	7.54	97.00	36.00	0.10	1.20	0.01	8.88
2	26.00	30.00	150.00	7.40	2.60	7.78	89.00	36.00	0.10	0.90	0.07	5.92
3	25.00	27.50	151.00	7.00	2.00	7.85	94.00	28.00	0.10	0.70	0.09	8.88
4	25.40	25.00	139.50	7.40	2.20	7.68	89.00	7.00	0.01	0.80	0.03	8.88
5	26.40	28.00	150.20	8.00	1.60	7.66	82.00	5.00	0.02	2.30	0.04	4.44
6	26.10	26.00	140.20	7.40	1.80	7.51	82.00	4.00	0.02	0.80	0.02	2.96

ตาราง 22 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 10 (18-ม.ค. -52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	22.97	24.00	159.00	8.00	2.60	7.89	90.00	40.00	0.17	0.37	0.01	5.92
2	24.00	24.50	157.00	7.80	2.60	7.90	90.00	35.00	0.23	0.23	0.02	4.44
3	22.50	25.00	158.00	8.00	3.00	7.87	90.00	41.00	0.10	0.10	0.03	4.44
4	22.50	24.00	140.10	8.00	2.40	8.02	78.00	18.00	0.11	0.11	0.01	1.48
5	24.00	24.50	149.10	8.40	1.80	8.06	82.00	8.00	0.08	0.08	0.01	1.48
6	23.00	24.00	139.50	8.00	1.60	8.12	88.00	10.00	0.01	0.01	0.01	4.44

ตาราง 23 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 11 (31-ม.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{-1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	25.00	25.00	134.00	8.00	3.60	8.48	91.33	39.33	0.22	0.50	0.02	4.44
2	26.00	26.00	146.00	8.00	2.40	8.55	95.33	37.00	0.28	0.30	0.14	5.92
3	26.00	32.00	145.00	8.40	3.20	8.71	92.33	43.00	0.31	0.70	0.10	5.92
4	26.00	31.00	133.00	7.80	3.20	8.06	80.67	9.00	0.12	0.30	0.04	4.44
5	26.00	29.00	129.00	7.60	1.80	8.35	80.67	35.67	0.06	0.40	0.03	7.40
6	26.00	30.00	136.00	8.00	2.60	7.85	83.00	17.33	0.05	0.20	0.01	4.44

ตาราง 24 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 12 (14-ก.พ.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{-1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	24.50	27.00	139.33	6.00	2.80	7.89	98.00	28.00	0.26	0.10	0.10	8.88
2	25.00	28.00	149.00	5.20	2.40	8.13	89.00	29.00	0.16	0.10	0.07	5.92
3	25.00	30.00	148.33	5.40	2.60	8.09	94.00	20.00	0.11	0.10	0.11	10.36
4	25.00	27.00	130.00	6.40	2.40	8.12	99.00	15.00	0.07	0.10	0.03	10.36
5	26.00	30.00	128.00	6.40	1.80	8.01	90.00	6.00	0.07	0.10	0.02	5.92
6	26.00	27.00	132.00	6.20	1.20	8.03	84.00	10.00	0.07	0.10	0.01	5.92

ตาราง 25 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่หียะ 3 ครั้งที่ 13 (28-ก.พ.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	25.40	29.00	164.70	5.00	2.80	7.71	79.00	30.00	0.19	0.10	0.03	8.88
2	25.60	28.50	162.83	5.60	2.80	7.73	77.00	35.00	0.20	0.10	0.05	8.88
3	26.10	29.50	163.17	6.20	2.60	7.73	80.00	31.00	0.10	0.10	0.06	22.20
4	26.20	29.00	146.63	5.80	1.80	7.70	73.00	2.00	0.05	0.10	0.11	5.92
5	26.60	29.50	146.23	5.80	1.20	7.73	71.00	3.00	0.01	0.10	0.06	4.44
6	26.50	29.00	147.07	6.00	1.00	7.72	74.00	5.00	0.01	0.10	0.11	4.44

ตาราง 26 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่หียะ 3 ครั้งที่ 14 (15-มี.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	26.10	30.00	167.00	7.67	2.00	8.02	103.00	4.00	0.01	0.30	0.07	2.96
2	27.00	30.00	166.00	7.27	1.00	7.89	102.00	2.00	0.06	0.20	0.01	2.96
3	26.50	31.00	168.00	7.20	1.00	7.81	102.00	13.00	0.02	0.50	0.05	4.44
4	26.10	30.00	152.00	6.07	0.20	8.01	104.00	5.00	0.02	0.10	0.10	0.00
5	27.40	30.00	154.00	6.80	0.80	7.95	100.00	15.00	0.02	0.10	0.04	2.96
6	27.20	30.00	148.00	6.80	1.20	7.80	101.00	13.00	0.02	0.50	0.15	1.48

ตาราง 27 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 15 (28-มี.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	29.40	31.00	174.00	7.40	1.80	8.22	87.00	20.00	0.02	1.20	0.01	4.44
2	29.90	30.50	175.00	7.40	2.00	8.19	92.00	20.00	0.02	0.10	0.01	5.92
3	29.80	32.00	174.00	7.40	1.20	8.24	90.00	20.00	0.01	0.20	0.01	5.92
4	29.50	32.00	155.00	6.60	1.00	7.97	80.00	13.00	0.01	0.60	0.02	1.48
5	29.90	32.00	155.00	6.60	1.20	7.85	80.00	20.00	0.03	0.10	0.05	2.96
6	30.00	32.00	156.00	7.00	1.00	7.93	80.00	18.00	0.01	0.40	0.01	2.96

ตาราง 28 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 16 (11-เม.ย.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.90	32.00	170.00	7.00	1.20	8.37	95.00	26.00	0.09	0.60	0.01	0.00
2	31.40	33.00	171.00	7.40	0.60	8.53	88.00	22.00	0.12	0.80	0.01	13.32
3	31.60	33.00	171.00	7.00	0.80	8.50	90.00	28.00	0.08	0.80	0.01	17.76
4	30.90	31.50	155.00	6.40	0.80	7.84	86.00	33.00	0.07	0.60	0.01	23.68
5	31.40	31.00	155.00	6.00	1.00	7.77	85.00	15.00	0.05	0.40	0.02	4.44
6	31.40	32.00	156.00	6.00	0.80	7.94	85.00	17.00	0.07	1.10	0.01	13.32

ตาราง 29 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 17 (25-เม.ย.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	32.00	34.00	178.00	7.20	1.60	8.35	44.00	29.00	0.10	0.10	0.12	13.32
2	32.80	35.90	175.00	7.40	1.00	8.55	50.00	58.00	0.15	0.20	0.04	7.40
3	32.60	35.50	174.00	7.80	1.40	8.54	48.00	83.00	0.11	0.10	0.18	4.44
4	32.40	30.80	157.00	7.20	0.40	8.21	45.00	35.00	0.01	0.30	0.11	1.48
5	33.10	36.70	156.00	7.00	0.60	8.27	43.00	67.00	0.07	0.10	0.13	20.72
6	32.80	37.00	157.00	6.40	0.60	8.08	44.00	37.00	0.03	0.10	0.18	7.40

ตาราง 30 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่หียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 18 (9-พ.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	32.00	33.50	180.00	7.60	1.60	7.41	95.00	29.00	0.19	0.70	0.10	11.84
2	34.00	33.50	178.00	9.00	1.80	8.20	94.00	32.00	0.21	0.90	0.29	2.96
3	33.60	34.50	177.00	9.00	2.00	8.28	93.00	28.00	0.13	0.80	0.19	7.40
4	33.20	34.50	156.00	7.00	2.00	8.02	63.00	21.00	0.09	0.10	0.58	19.24
5	32.80	36.00	155.00	7.00	1.00	7.85	80.00	13.00	0.04	0.70	0.09	20.72
6	33.40	35.00	157.00	7.00	1.00	7.89	71.00	15.00	0.05	0.80	0.21	14.80

ตาราง 31 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 19 (23-พ.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	32.60	33.50	171.00	7.00	1.00	8.20	90.00	22.00	0.43	0.70	0.02	7.40
2	33.50	33.50	171.00	7.20	1.80	8.22	92.00	20.00	0.52	1.00	0.01	14.80
3	33.60	33.50	169.00	7.00	1.00	8.30	98.00	20.00	0.47	1.20	0.01	7.40
4	34.00	34.40	144.00	7.00	1.00	8.05	72.00	14.00	0.25	0.80	0.01	16.28
5	33.30	34.60	145.00	7.00	1.00	8.05	74.00	14.00	0.14	0.20	0.01	1.48
6	33.30	34.20	144.00	7.00	1.00	8.03	73.00	3.00	0.22	0.30	0.01	7.40

ตาราง 32 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 20 (6-มิ.ย. -52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.90	28.00	178.00	6.20	0.60	7.76	87.00	29.00	0.16	1.00	0.09	11.84
2	30.90	28.70	178.00	6.20	1.00	7.75	81.00	24.00	0.12	1.10	0.01	7.40
3	31.10	30.20	178.00	6.20	1.00	7.81	87.00	20.00	0.16	1.10	0.05	7.40
4	31.30	30.20	145.00	6.60	1.00	7.78	70.00	9.00	0.08	0.60	0.03	7.40
5	31.30	30.20	147.00	6.80	1.00	7.99	72.00	10.00	0.11	0.70	0.10	1.48
6	31.30	31.10	146.00	6.40	0.80	8.10	72.00	16.00	0.11	1.20	0.01	11.84

ตาราง 33 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 21 (21-มิ.ย.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.90	29.00	172.00	7.80	1.20	8.10	112.00	28.00	0.26	0.10	0.11	11.84
2	31.10	31.00	171.00	7.40	1.00	8.26	113.00	32.00	0.47	0.00	0.01	7.40
3	31.20	31.00	171.00	7.20	1.00	8.12	112.00	30.00	0.33	0.70	0.03	13.32
4	31.10	32.00	138.00	7.20	1.00	8.05	90.00	25.00	0.15	0.10	0.02	1.48
5	31.20	32.00	139.00	6.20	1.20	8.11	100.00	27.00	0.09	0.00	0.05	4.44
6	31.20	32.00	139.00	6.40	1.20	8.29	100.00	41.00	0.12	0.00	0.01	20.72

ตาราง 34 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 22 (6-ก.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	28.80	25.30	170.00	6.00	2.40	7.62	110.00	51.00	0.22	0.90	0.01	11.84
2	28.80	25.30	168.00	6.20	2.20	7.54	105.00	55.00	0.12	0.20	0.28	2.96
3	28.70	24.80	168.00	6.20	2.00	7.59	87.00	77.00	0.15	0.80	0.00	17.76
4	28.80	25.40	133.00	5.40	1.20	7.47	84.00	66.00	0.06	0.20	0.04	8.88
5	28.80	25.60	132.00	6.00	1.60	7.70	86.00	84.00	0.01	0.90	0.05	16.28
6	28.70	25.60	134.00	5.80	1.80	7.71	83.00	38.00	0.00	0.10	0.01	16.28

ตาราง 35 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 23 (18-ก.ค.-52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	31.80	32.00	182.00	7.40	2.60	7.40	120.00	15.00	0.44	0.30	0.08	10.36
2	31.90	32.00	181.00	7.80	2.40	7.73	110.00	16.00	0.45	0.00	0.03	8.88
3	32.10	32.00	181.00	7.40	2.40	7.59	105.00	14.00	0.39	0.00	0.00	5.92
4	32.00	32.00	140.00	6.60	1.40	7.65	72.00	25.00	0.00	0.00	0.00	10.36
5	31.90	32.00	141.00	6.80	1.60	7.86	72.00	21.00	0.00	0.20	0.04	13.32
6	31.80	32.00	142.00	6.80	1.60	7.73	88.00	23.00	0.01	0.40	0.04	8.88

ตาราง 36 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 24 (1-ส.ค. -52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^{1}.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.30	30.50	177.00	6.40	1.40	7.67	106.00	46.00	0.20	0.00	0.00	7.40
2	30.70	30.50	173.00	6.40	1.40	7.90	104.00	47.00	0.20	0.30	0.07	10.36
3	30.60	30.50	173.00	6.60	1.60	8.01	102.00	40.00	0.15	0.70	0.01	10.36
4	30.60	31.00	134.00	6.20	1.20	8.00	80.00	22.00	0.01	0.00	0.00	2.96
5	30.50	31.00	135.00	7.00	2.60	7.80	80.00	21.00	0.00	0.10	0.00	2.96
6	30.70	31.00	135.00	6.20	1.80	7.94	82.00	24.00	0.00	0.00	0.05	11.84

ตาราง 37 คุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างในอ่างเก็บแม่เหียะ 2 และอ่างเก็บแม่เหียะ 3 ครั้งที่ 25 (15-ส.ค. -52)

site	อุณหภูมิน้ำ (^{0}C)	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu s/cm^{-1}$)	DO (mg/l^{-1})	BOD (mg/l^{-1})	pH	Alkalinity ($mg/l^1.CaCO_3$)	Turbidity (FAU)	Phosphate (mg/l^{-1})	Nitrate (mg/l^{-1})	Ammonia (mg/l^{-1})	Chlorophyll a (mg/l^{-1})
1	30.90	31.00	184.00	7.00	2.80	8.05	97.00	47.00	0.08	0.20	0.00	14.80
2	31.20	31.00	181.00	7.20	3.20	8.03	99.00	45.00	0.07	0.60	0.03	11.84
3	31.80	36.00	181.00	7.00	1.40	8.05	98.00	41.00	0.05	0.60	0.05	14.80
4	31.30	36.00	143.00	6.40	2.60	7.82	75.00	45.00	0.07	0.50	0.01	10.36
5	31.70	34.00	143.00	6.60	3.20	7.88	75.00	38.00	0.01	0.80	0.00	17.76
6	31.50	34.00	142.00	6.20	3.20	7.73	75.00	20.00	0.01	1.60	0.00	23.68

ภาคผนวก ง

ตาราง 38 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้ Complete randomized design

ตาราง 38.1 อุณหภูมิน้ำ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.846	5	2.169	.227	.950
Within Groups	1376.369	144	9.558		
Total	1387.215	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05
		1
1.00	25	28.7800
4.00	25	29.0640
2.00	25	29.2520
3.00	25	29.3040
5.00	25	29.5360
6.00	25	29.5560
Sig.		.949

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.2 อุณหภูมิอากาศ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	36.848	5	7.370	.691	.631
Within Groups	1536.162	144	10.668		
Total	1573.011	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05
		1
1.00	25	29.4800
2.00	25	29.9280
4.00	25	30.0320
6.00	25	30.4160
5.00	25	30.7640
3.00	25	30.9120
Sig.		.633

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.3 ค่า pH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.662	5	.332	2.609	.027
Within Groups	18.342	144	.127		
Total	20.003	149			

Tukey HSD

		Subset for alpha = .05	
site	N	1	2
6.00	25	7.6896	
4.00	25	7.8500	7.8500
5.00	25	7.8536	7.8536
1.00	25	7.8592	7.8592
3.00	25		7.9972
2.00	25		8.0008
Sig.		.547	.669

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.4 ค่าความเป็นด่าง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4877.908	5	975.582	3.938	.002
Within Groups	35673.096	144	247.730		
Total	40551.004	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2
6.00	25	76.1120	
5.00	25	76.2804	
4.00	25	76.5336	
3.00	25	86.3336	86.3336
2.00	25	86.8532	86.8532
1.00	25		89.4532
Sig.		.159	.982

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.5 ค่าความขุ่น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8828.320	5	1765.664	4.988	.000
Within Groups	50970.359	144	353.961		
Total	59798.679	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2
6.00	25	18.5720	
4.00	25	23.0000	23.0000
5.00	25	23.7880	23.7880
1.00	25		36.0520
2.00	25		36.9200
3.00	25		37.3200
Sig.		.924	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.6 ค่า DO

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.163	5	3.633	4.539	.001
Within Groups	115.251	144	.800		
Total	133.414	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2
6.00	25	6.2800	
4.00	25	6.4120	6.4120
5.00	25	6.5520	6.5520
1.00	25		7.0520
2.00	25		7.0800
3.00	25		7.1400
Sig.		.891	.052

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.7 ค่า BOD

DO	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.663	5	2.933	5.370	.000
Within Groups	78.637	144	.546		
Total	93.300	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2	3
6.00	25	1.5640		
4.00	25	1.5760		
5.00	25	1.6440	1.6440	
3.00	25	2.0840	2.0840	2.0840
2.00	25		2.2400	2.2400
1.00	25			2.2920
Sig.		.135	.055	.919

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.8 ค่าการนำไฟฟ้า

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13317.453	5	2663.491	22.102	.000
Within Groups	17353.361	144	120.509		
Total	30670.813	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2
4.00	25	144.6920	
6.00	25	146.1120	
5.00	25	147.4960	
1.00	25		164.0680
2.00	25		164.6440
3.00	25		165.8280
Sig.		.945	.993

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.9 ปริมาณฟอสเฟต

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.477	5	.095	10.660	.000
Within Groups	1.289	144	.009		
Total	1.766	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05 1	2
5.00	25	.0448	
6.00	25	.0456	
4.00	25	.0584	
3.00	25		.1432
1.00	25		.1600
2.00	25		.1776
Sig.		.996	.792

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.10 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.537	5	.707	1.799	.117
Within Groups	56.630	144	.393		
Total	60.167	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05
		1
5.00	25	.5920
2.00	25	.5960
1.00	25	.6240
4.00	25	.6240
6.00	25	.6800
3.00	25	1.0280
Sig.		.144

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.11 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.053	5	.011	1.053	.389
Within Groups	1.447	144	.010		
Total	1.500	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05
		1
3.00	25	.0536
5.00	25	.0548
1.00	25	.0556
6.00	25	.0596
2.00	25	.0896
4.00	25	.1004
Sig.		.567

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	47.912	5	9.582	.373	.866
Within Groups	3694.846	144	25.659		
Total	3742.758	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05
		1
4.00	25	7.6800
5.00	25	7.8000
1.00	25	8.2000
2.00	25	8.2320
6.00	25	8.6960
3.00	25	9.3560
Sig.		.850

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 38.13 ปริมาณ *B. braunii*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1072283064.773	5	214456612.955	7.372	.000
Within Groups	4189282676.800	144	29092240.811		
Total	5261565741.574	149			

Tukey HSD

site	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
4.00	25	331.9200		
6.00	25	394.5600	394.5600	
5.00	25	460.7600	460.7600	
1.00	25		4745.1200	4745.1200
3.00	25			5465.7200
2.00	25			6662.2400
Sig.		1.000	.055	.808

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.000.

ตาราง 39 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างอ่างเก็บน้ำโดยใช้ randomized Complete block design

ตาราง 39.1 อุณหภูมิน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Temp. water

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1057.031(a)	49	21.572	4.181	.000
Intercept	137307.779	1	137307.779	26611.066	.000
reservoirs	3.315	1	3.315	.643	.425
date	1008.889	24	42.037	8.147	.000
reservoirs * date	44.826	24	1.868	.362	.997
Error	515.980	100	5.160		
Total	138880.790	150			
Corrected Total	1573.011	149			

a R Squared = .672 (Adjusted R Squared = .511)

ตาราง 39.2 อุณหภูมิอากาศ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Temp. air

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1399.175(a)	49	28.555	19.495	.000
Intercept	137380.402	1	137380.402	93792.091	.000
reservoirs	3.557	1	3.557	2.429	.122
date	1349.850	24	56.244	38.399	.000
reservoirs * date	45.768	24	1.907	1.302	.183
Error	146.473	100	1.465		
Total	138926.050	150			
Corrected Total	1545.648	149			

a R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .859)

ตาราง 39.3 ค่า pH

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14.057(a)	49	.287	4.539	.000
Intercept	9309.433	1	9309.433	147301.149	.000
reservoirs	.882	1	.882	13.950	.000
date	8.942	24	.373	5.896	.000
reservoirs * date	4.233	24	.176	2.791	.000
Error	6.320	100	.063		
Total	9329.810	150			
Corrected Total	20.377	149			

a R Squared = .690 (Adjusted R Squared = .538)

ตาราง 38.4 ค่าความเป็นด่าง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Alkaline

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38413.860(a)	49	783.956	36.829	.000
Intercept	1006845.963	1	1006845.963	47299.816	.000
reservoirs	4734.289	1	4734.289	222.408	.000
date	31242.292	24	1301.762	61.154	.000
reservoirs * date	2437.280	24	101.553	4.771	.000
Error	2128.647	100	21.286		
Total	1047388.470	150			
Corrected Total	40542.507	149			

a R Squared = .947 (Adjusted R Squared = .922)

ตาราง 39.5 ค่าความขุ่น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: turbid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	48933.212(a)	49	998.637	12.520	.000
Intercept	136582.611	1	136582.611	1712.285	.000
reservoirs	8821.267	1	8821.267	110.589	.000
date	34316.867	24	1429.869	17.926	.000
reservoirs * date	5795.078	24	241.462	3.027	.000
Error	7976.627	100	79.766		
Total	193492.450	150			
Corrected Total	56909.839	149			

a R Squared = .860 (Adjusted R Squared = .791)

ตาราง 39.6 ค่า DO

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	118.183(a)	49	2.412	15.903	.000
Intercept	6846.530	1	6846.530	45141.959	.000
reservoirs	17.204	1	17.204	113.435	.000
date	76.283	24	3.178	20.957	.000
reservoirs * date	24.696	24	1.029	6.785	.000
Error	15.167	100	.152		
Total	6979.880	150			
Corrected Total	133.350	149			

a R Squared = .886 (Adjusted R Squared = .831)

ตาราง 39.7 ค่า BOD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	159.047(a)	49	3.246	24.356	.000
Intercept	614.486	1	614.486	4610.953	.000
reservoirs	18.727	1	18.727	140.520	.000
date	123.724	24	5.155	38.683	.000
reservoirs * date	16.597	24	.692	5.189	.000
Error	13.327	100	.133		
Total	786.860	150			
Corrected Total	172.374	149			

a R Squared = .923 (Adjusted R Squared = .885)

ตาราง 39.8 ค่าการนำไฟฟ้า

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: conduct

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30876.623(a)	49	630.135	25.380	.000
Intercept	3647187.107	1	3647187.107	146900.510	.000
reservoirs	11691.803	1	11691.803	470.920	.000
date	13304.394	24	554.350	22.328	.000
reservoirs * date	5880.425	24	245.018	9.869	.000
Error	2482.760	100	24.828		
Total	3680546.490	150			
Corrected Total	33359.383	149			

a R Squared = .926 (Adjusted R Squared = .889)

ตาราง 39.9 ปริมาณฟอสเฟต

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: phosphate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.629(a)	49	.033	26.112	.000
Intercept	1.664	1	1.664	1307.016	.000
reservoirs	.453	1	.453	355.485	.000
date	.832	24	.035	27.239	.000
reservoirs * date	.344	24	.014	11.260	.000
Error	.127	100	.001		
Total	3.421	150			
Corrected Total	1.757	149			

a R Squared = .928 (Adjusted R Squared = .892)

ตาราง 39.10 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: nitrate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	39.059(a)	49	.797	3.750	.000
Intercept	70.864	1	70.864	333.398	.000
reservoirs	.528	1	.528	2.484	.118
date	35.361	24	1.473	6.932	.000
reservoirs * date	3.170	24	.132	.621	.909
Error	21.255	100	.213		
Total	131.178	150			
Corrected Total	60.314	149			

a R Squared = .648 (Adjusted R Squared = .475)

ตาราง 39.11 ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ammonia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.718(a)	49	.015	1.849	.005
Intercept	.683	1	.683	86.142	.000
reservoirs	.000	1	.000	.034	.855
date	.503	24	.021	2.644	.000
reservoirs * date	.215	24	.009	1.129	.327
Error	.793	100	.008		
Total	2.193	150			
Corrected Total	1.511	149			

a R Squared = .475 (Adjusted R Squared = .218)

ตาราง 39.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: chlorophyll *a*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2010.558(a)	49	41.032	2.369	.000
Intercept	10401.672	1	10401.672	600.489	.000
reservoirs	10.827	1	10.827	.625	.431
date	1495.770	24	62.324	3.598	.000
reservoirs * date	503.961	24	20.998	1.212	.250
Error	1732.200	100	17.322		
Total	14144.430	150			
Corrected Total	3742.758	149			

a R Squared = .537 (Adjusted R Squared = .310)

ตาราง 39.13 ปริมาณ *B. braunii*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: B.b

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4803240097.574(a)	49	98025308.114	21.388	.000
Intercept	1359063160.427	1	1359063160.427	296.528	.000
reservoirs	1025189902.107	1	1025189902.107	223.682	.000
date	1870625184.574	24	77942716.024	17.006	.000
reservoirs * date	1907425010.894	24	79476042.121	17.341	.000
Error	458325644.000	100	4583256.440		
Total	6620628902.000	150			
Corrected Total	5261565741.574	149			

a R Squared = .913 (Adjusted R Squared = .870)

ตาราง 40 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลโดยใช้ randomized Complete block design

ตาราง 40.1 อุณหภูมิน้ำ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Twater

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	775.404(a)	5	155.081	36.523	.000
Intercept	122211.504	1	122211.504	28781.601	.000
reservoirs	2.622	1	2.622	.617	.433
season	771.286	2	385.643	90.821	.000
reservoirs * season	1.425	2	.713	.168	.846
Error	611.448	144	4.246		
Total	129686.130	150			
Corrected Total	1386.853	149			

a R Squared = .559 (Adjusted R Squared = .544)

ตาราง 40.2 อุณหภูมิอากาศ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tair

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	473.987(a)	5	94.797	12.738	.000
Intercept	132330.764	1	132330.764	17781.394	.000
reservoirs	2.648	1	2.648	.356	.552
season	468.045	2	234.023	31.446	.000
reservoirs * season	2.385	2	1.192	.160	.852
Error	1071.661	144	7.442		
Total	138926.050	150			
Corrected Total	1545.648	149			

a R Squared = .307 (Adjusted R Squared = .283)

ตาราง 40.3 ค่า pH

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.241(a)	5	.448	3.558	.005
Intercept	8911.063	1	8911.063	70752.043	.000
reservoirs	.861	1	.861	6.833	.010
season	.986	2	.493	3.915	.022
reservoirs * season	.373	2	.187	1.481	.231
Error	18.136	144	.126		
Total	9329.810	150			
Corrected Total	20.377	149			

a R Squared = .110 (Adjusted R Squared = .079)

ตาราง 40.4 ค่าความเป็นด่าง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Alkaline

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5829.246(a)	5	1165.849	4.836	.000
Intercept	954674.674	1	954674.674	3960.249	.000
reservoirs	4083.879	1	4083.879	16.941	.000
season	462.905	2	231.452	.960	.385
reservoirs * season	632.052	2	316.026	1.311	.273
Error	34713.261	144	241.064		
Total	1047388.470	150			
Corrected Total	40542.507	149			

a R Squared = .144 (Adjusted R Squared = .114)

ตาราง 40.5 ค่าความขุ่น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: turbid

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12379.985(a)	5	2475.997	8.007	.000
Intercept	123827.765	1	123827.765	400.432	.000
reservoirs	7802.667	1	7802.667	25.232	.000
season	2066.998	2	1033.499	3.342	.038
reservoirs * season	1491.720	2	745.860	2.412	.093
Error	44529.854	144	309.235		
Total	193492.450	150			
Corrected Total	56909.839	149			

a R Squared = .218 (Adjusted R Squared = .190)

ตาราง 40.6 ค่า DO

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18.248(a)	5	3.650	4.566	.001
Intercept	6558.340	1	6558.340	8204.910	.000
reservoirs	16.777	1	16.777	20.989	.000
season	.950	2	.475	.594	.553
reservoirs * season	.094	2	.047	.058	.943
Error	115.102	144	.799		
Total	6979.880	150			
Corrected Total	133.350	149			

a R Squared = .137 (Adjusted R Squared = .107)

ตาราง 40.7 ค่า BOD

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	66.360(a)	5	13.272	18.027	.000
Intercept	543.224	1	543.224	737.869	.000
reservoirs	18.102	1	18.102	24.588	.000
season	43.862	2	21.931	29.789	.000
reservoirs * season	3.771	2	1.886	2.561	.081
Error	106.014	144	.736		
Total	786.860	150			
Corrected Total	172.374	149			

a R Squared = .385 (Adjusted R Squared = .364)

ตาราง 40.8 ค่าการนำไฟฟ้า

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: conduct

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	21936.045(a)	5	4387.209	55.304	.000
Intercept	3500796.372	1	3500796.372	44130.244	.000
reservoirs	10800.188	1	10800.188	136.145	.000
season	7875.874	2	3937.937	49.641	.000
reservoirs * season	2368.367	2	1184.184	14.928	.000
Error	11423.338	144	79.329		
Total	3680546.490	150			
Corrected Total	33359.383	149			

a R Squared = .658 (Adjusted R Squared = .646)

ตาราง 40.9 ปริมาณฟอสเฟต

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: phosphate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.573(a)	5	.115	13.938	.000
Intercept	1.442	1	1.442	175.377	.000
reservoirs	.382	1	.382	46.453	.000
season	.078	2	.039	4.774	.010
reservoirs * season	.042	2	.021	2.537	.083
Error	1.184	144	.008		
Total	3.421	150			
Corrected Total	1.757	149			

a R Squared = .326 (Adjusted R Squared = .303)

ตาราง 40.10 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: nitrate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.082(a)	5	1.016	2.650	.025
Intercept	60.944	1	60.944	158.893	.000
reservoirs	.455	1	.455	1.186	.278
season	4.488	2	2.244	5.851	.004
reservoirs * season	.066	2	.033	.086	.918
Error	55.232	144	.384		
Total	131.178	150			
Corrected Total	60.314	149			

a R Squared = .084 (Adjusted R Squared = .052)

ตาราง 40.11 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ammonia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.096(a)	5	.019	1.946	.090
Intercept	.720	1	.720	73.315	.000
reservoirs	.002	1	.002	.191	.663
season	.077	2	.039	3.937	.022
reservoirs * season	.018	2	.009	.914	.403
Error	1.415	144	.010		
Total	2.193	150			
Corrected Total	1.511	149			

a R Squared = .063 (Adjusted R Squared = .031)

ตาราง 40.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: chlorophylla

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	214.064(a)	5	42.813	1.747	.128
Intercept	9788.278	1	9788.278	399.443	.000
reservoirs	7.063	1	7.063	.288	.592
season	179.607	2	89.803	3.665	.028
reservoirs * season	23.630	2	11.815	.482	.618
Error	3528.694	144	24.505		
Total	14144.430	150			
Corrected Total	3742.758	149			

a R Squared = .057 (Adjusted R Squared = .024)

ตาราง 40.13 ปริมาณ *B. braunii*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: B.b

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1522668618.566(a)	5	304533723.713	11.729	.000
Intercept	1143548407.849	1	1143548407.849	44.043	.000
reservoirs	858747354.876	1	858747354.876	33.074	.000
season	233995986.647	2	116997993.324	4.506	.013
reservoirs * season	263482729.812	2	131741364.906	5.074	.007
Error	3738897123.008	144	25964563.354		
Total	6620628902.000	150			
Corrected Total	5261565741.574	149			

a R Squared = .289 (Adjusted R Squared = .265)

ภาคผนวก จ

1.สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย

1. 1 สูตรอาหาร Modified Chu 13 medium (Largeau *et al.*, 1980)

KNO_3	0.2	g
K_2HPO_4	0.04	g
$MgSO_4.7H_2O$	0.10	g
$CaCl_2.2H_2O$	0.054	g
Fe citrate	0.01	g
Micro element	1	ml

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 ml

ปรับ pH เท่ากับ 6.7 ด้วย KOH 0.1 N

Micro element ประกอบด้วย

H_3BO_3	2.85	g
$MnCl_2$	1.80	g
$ZnSO_4.7H_2O$	0.02	g
$CuSO_4.5H_2O$	0.08	g
$CoCl_2.6H_2O$	0.08	g
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.05	g
น้ำกลั่น	1000	ml

1.2 สูตรอาหาร CA medium (Watanabe *et al.*, 2000)

$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	2.0	mg
KNO_3	10.0	mg
NH_4NO_3	5.0	mg
ß-Na_2glycerophosphate.$5H_2O$	3.0	mg
$MgSO_4.7H_2O$	2.0	mg
Vitamin B12	0.01	µg

Thiamine HCl	0.01	µg
PIV metal	0.1	ml
Fe (as EDTA; 1:1 Molar)	0.1	ml
HEPES	40.0	mg

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml

ปรับ pH เท่ากับ 7.2 ด้วย KOH 0.1 N

PIV metal ประกอบด้วย

$FeCl_3.6H_2O$	19.6	mg
$MnCl_2.4H_2O$	3.6	mg
$ZnSO_4.7H_2O$	2.2	mg
$CoCl_2.6H_2O$	0.4	mg
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25	mg
$Na_2EDTA.2H_2O$	100.0	mg
น้ำกลั่น	100	ml

Fe (as EDTA; 1:1 Molar) ประกอบด้วย

$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$	70.2	mg
$Na_2EDTA.2H_2O$	66.0	mg
น้ำกลั่น	100	ml

2. การวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การหาน้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย

(ดัดแปลงจาก ยศวดี, 2547)

ขั้นตอน

1. นำหลอด centrifuge ขนาด 50 ml ไปอบที่อุณหภูมิ 55 °C ประมาณ 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำไปวางให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะได้น้ำหนักหลอด (A)

2. เลี้ยงสาหร่ายในอาหาร CA จนเซลล์เจริญสูงสุด นำเซลล์มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น วัดค่าความ

ขุ่นด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 680 nm ให้ได้ค่าความขุ่นเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 ใช้น้ำกลั่นเป็น blank

3. นำเซลล์ที่ระดับความขุ่นต่างๆ 30 ml มาปั่นตกตะกอนที่ความเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่อง freeze dryer

4. นำสาหร่ายแห้งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำไปวางให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (B)

5. คำนวณน้ำหนัก

น้ำหนักหลอด centrifuge = A

น้ำหนักหลอด centrifuge + สาหร่าย = B

$$\text{น้ำหนักเซลล์สาหร่ายแห้ง (g/l)} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ปริมาตรสาหร่ายที่นำมากรอง}}$$

6. บันทึกค่าความขุ่น กับน้ำหนักเซลล์แห้งที่ได้ (g/l) และ plot กราฟของค่าที่ได้เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานในการคำนวณหาปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย

ตาราง 41 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *B. braunii* เมื่อเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องและ 25 °C

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (g/l)	
	อุณหภูมิห้อง	25 °C
0	0.4456	0.4401
3	0.5491	0.5289
6	0.6726	0.6169
9	0.7647	0.6762
12	0.8956	0.7565
15	0.908	0.828
18	1.0691	0.9002
21	1.3266	1.0075
24	1.5155	1.1958
27	1.7348	1.2862
30	1.8717	1.3494
33	2.076	1.474
36	2.1441	1.5898
39	2.2223	1.7082
42	2.4949	1.9416
45	2.5093	2.2348
48	2.524	2.345
51	2.653	2.368
54	2.674	2.382
57	2.711	2.421
60	2.832	2.51

ตาราง 42 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *B. braunii* PK5 เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร modified Chu 13 และ CA ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (g/l)	
	Chu 13	**CA**
0	0.4256	0.4456
3	0.4434	0.5491
6	0.5627	0.6726
9	0.6745	0.7647
12	0.7864	0.8956
15	0.8648	0.908
18	0.9029	1.0691
21	0.9764	1.2266
24	1.0041	1.3155
27	1.0163	1.3348
30	1.1368	1.4717
33	1.1614	1.576
36	1.2531	1.6441
39	1.3034	1.7223
42	1.3989	1.8949
45	1.542	2.2093
48	1.541	2.2101
51	1.561	2.2211
54	1.612	2.2334
57	1.654	2.2367
60	1.658	2.504

ตาราง 43 น้ำหนักเซลล์แห้งของ *B. braunii* PK5 เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหาร CA ที่มี pH 7.2, 8.0, 8.5, 9.0 และ 9.5 ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	น้ำหนักเซลล์แห้ง (g/l)		
	pH 7.2	pH 8.0	pH 8.5
0	0.1519	0.1525	0.1594
3	0.2514	0.2257	0.2389
6	0.357	0.3292	0.3438
9	0.5395	0.4676	0.4607
12	0.897	0.6901	0.5723
15	1.0443	0.8204	0.8368
18	1.2328	0.9906	0.9757
21	1.4141	1.1746	1.0646
24	1.5047	1.3488	1.194
27	1.5516	1.4227	1.3703
30	1.6111	1.5992	1.5491
33	1.7718	1.6059	1.6607
36	1.8778	1.7716	1.7587
39	1.8927	1.784	1.8471
42	1.9073	1.8066	1.8251
45	2.0413	1.9845	1.9927
48	2.0674	2.001	2.021
51	2.0543	2.032	2.035
54	2.123	2.058	2.0539
57	2.2331	2.0876	2.0453
60	2.341	2.1032	2.0954