

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง  
ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย

Effect of pH on growth in cyanobacteria



ว.ร.  
๑๖๓๗  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...104543  
วัน,เดือน,ปี... 5 พ.ย. 2552

b. 12159001  
i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร 10520  
ปีการศึกษา 2550



T104543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

### เรื่อง

#### ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย

#### Effect of pH on growth in cyanobacteria

จากการศึกษาผลของ pH ต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ ใน Cyanobacteria 8 ชนิด คือ *Hapalosiphon* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Fischerella* sp., *Spirulina* sp. และ *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 ระยะเวลาการเลี้ยงเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์แสดงได้จากค่า Fv/Fm (ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ที่สูงสุดในศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงที่ PSII) โดยสาหร่ายแต่ละชนิดมีความทนต่อความเป็นกรดได้ต่างกัน โดยชนิดที่ทนต่อความเป็นกรดได้ดี คือ *Hapalosiphon* sp. และจากการศึกษาการเจริญเติบโตโดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์กับน้ำหนักแห้งจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยสาหร่ายที่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรดได้ดี คือ *Hapalosiphon* sp. ส่วนผลการสังเคราะห์ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย จะเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการทดลอง เนื่องจากการสร้างกลไกในการป้องกันตัวเนื่องจากสภาวะเครียด และหลังจากนั้นจะเริ่มลดลง เนื่องจากการตายของเซลล์ จากการศึกษาครั้งนี้ที่ pH ต่ำจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสารอาหารของสาหร่าย โดยจะขึ้นอยู่กับความทนต่อสภาวะเครียดของสาหร่ายแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาพิเศษจนบรรลุสำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชา วิทยาศาสตร์การประมงที่คอยให้คำแนะนำ, อบรม และให้ความรู้ตลอดมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ สรวิศ เผ่าทองสุข ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ ที่ เอื้อเพื่ออุปกรณ์เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนตีในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ขอขอบคุณ นางสาวบุปผา จงพัฒน์ และ นายณพล เผ่ามนัส ที่คอยควบคุมดูแลการใช้สารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำไปใช้ในการทดลองการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ขอขอบคุณนางสาววิศศรา มาลีเสน ที่เป็นเพื่อนร่วม ทำงานมาด้วยกันจนสำเร็จจุล่ง และเพื่อนๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกคน และขอกราบ ขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้โอกาสและให้กำลังใจตลอดมา

นางสาวชिरาพร เดชเดิม

พฤษภาคม 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	IV
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลการทดลองและวิจารณ์	20
สรุป	61
เอกสารอ้างอิง	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่เลี้ยงด้วยระดับ pH ที่ต่างกัน โดยระยะเวลาการเลี้ยง 24 ชั่วโมง	21
2	แสดงค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH ต่างกัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 24 ชั่วโมง	22
3	เปรียบเทียบค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่เลี้ยงด้วยระดับ pH ที่ต่างกัน โดยระยะเวลาการเลี้ยง 48 ชั่วโมง	24
4	แสดงค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH ต่างกัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 48 ชั่วโมง	25
5	เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 (กลุ่มควบคุม) และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ	33
6	แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH 4.5	33
7	เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. และ <i>Spirulina</i> sp.	34
8	แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. และ <i>Spirulina</i> sp. (mean±S.E.)	34
9	เปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ	41
10	แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH 4.5	41
11	เปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. และ <i>Spirulina</i> sp.	42
12	แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.)
- 13 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ 48
- 14 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.) 48
- 15 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ 54
- 16 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. 54
- 17 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ 60
- 18 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.) 60



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	<i>Spirulina</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	4
2	<i>Phormidium</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	4
3	<i>Oscillatoria</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	5
4	<i>Nostoc</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	5
5	<i>Stigonema</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	5
6	<i>Fischerella</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	6
7	<i>Hapalosiphon</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	6
8	<i>Mastigocladopsis</i> sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x	6
9	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ <i>Gloeocapsa</i> sp. ระหว่างการเจริญเติบโต ที่ระดับ pH ต่างกัน	10
10	ผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร) ของ <i>Ganoderma lucidum</i> ที่ระดับ pH 3.5 (สามเหลี่ยมทึบ), 4.5 (สามเหลี่ยมกลวง), 5.5 (วงกลมทึบ), 6.5 (วงกลมกลวง) และ 7.0 (กากบาท)	11
11	แสดงปริมาณ EPS (กรัมต่อลิตร) <i>Ganoderma lucidum</i> ที่ระดับ pH 3.5 (สามเหลี่ยมทึบ), 4.5 (สามเหลี่ยมกลวง), 5.5 (วงกลมทึบ), 6.5 (วงกลมกลวง) และ 7.0 (กากบาท)	12
12	กราฟแสดงค่ามาตรฐานของโปรตีน	17
13	กราฟแสดงค่ามาตรฐานของคาร์โบไฮเดรต	18
14	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในแต่ละวันของสาหร่ายแต่ละชนิด	26
15	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ <i>Fischerella</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	28
16	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ <i>Hapalosiphon</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	29
17	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ <i>Nostoc</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	29
18	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ <i>Phormidium</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	30
19	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ <i>Stigonema</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ 31  
ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp., ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ 32  
pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH 32  
ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 23 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ 36  
ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 24 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ 36  
pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 25 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ 37  
ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 26 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH 37  
ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 27 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ 38  
ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 28 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ 38  
ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 29 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ 39  
ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 30 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ 40  
ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 31 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักรวมของสาหร่าย) ของ *Fisherella* sp. ที่ 43  
เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 32 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักรวมของสาหร่าย) ของ *Hapalosiphon* 44  
sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 33 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักรวมของสาหร่าย) ของ *Nostoc* sp. ที่ 44  
เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 34 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักรวมของสาหร่าย) ของ *Phormidium* sp. 45  
ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 35 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักรวมของสาหร่าย) ของ *Stigonema* sp. ที่ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	
36	ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Mastigocladopsis</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	46
37	ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Osillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	47
38	ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Spirulina</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	47
39	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Fisherella</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	49
40	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Hapalosiphon</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	50
41	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Nostoc</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	50
42	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Phormidium</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	51
43	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Stigonema</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	51
44	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Mastigocladopsis</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	52
45	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Osillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	52
46	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ <i>Spirulina</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	53
47	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ <i>Fisherella</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	55
48	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ <i>Hapalosiphon</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	56
49	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ <i>Nostoc</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	56
50	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ <i>Phormidium</i> sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean $\pm$ S.E.)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 51 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยง 57  
ภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 52 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่ 58  
เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 53 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ 58  
ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)
- 54 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่ เลี้ยงภายใต้ 59  
ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

ปัจจุบันวิทยาการต่างๆทางเทคโนโลยีมีการก้าวหน้าเป็นอย่างมาก มีการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตในการต้านทานโรค ส่งเสริมสุขภาพ อุตสาหกรรม บำบัดแหล่งน้ำ ตลอดจนด้านอื่นๆ การใช้วิธีการทางเทคโนโลยีมีหลากหลายซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้น ไชยาโนแบคทีเรียก็เป็นอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพ

ไชยาโนแบคทีเรียจัดเป็นทรัพยากรชีวภาพ (bioresource) ที่มีความสำคัญมากทางเศรษฐกิจ เนื่องจากสามารถเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณให้ได้จำนวนมากตามต้องการมีประโยชน์ในเชิงการค้าเนื่องจากสาหร่ายนี้มีศักยภาพที่เหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบในทางการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ

ในการผลิตเซลล์สาหร่ายนั้นจะต้องเลี้ยงให้ได้เซลล์จำนวนมากซึ่งต้องทราบถึงวิธีการในการเลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายแต่ละชนิด เพราะปัจจัยในการเลี้ยงมีผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารประกอบต่างๆภายในเซลล์ของสาหร่าย โดยเฉพาะปัจจัยด้าน pH นับว่ามีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างมาก จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตและสารอาหารของไชยาโนแบคทีเรีย

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงระดับ pH ที่ต่างกัน ตั้งแต่เป็นกลางไปจนถึงเป็นกรดต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) ใน cyanobacteria
2. เพื่อศึกษาถึงผลของ pH ต่ำต่อการเจริญเติบโตของ cyanobacteria โดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์, ปริมาณน้ำหนักแห้ง, ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวัน, ปริมาณโปรตีน, ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเซลล์สาหร่าย และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายอยู่ในอาหารเลี้ยง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ทราบว่า cyanobacteria ชนิดใดที่สามารถทนต่อที่ระดับ pH ต่ำได้ดี เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำที่มีระดับ pH ต่ำ

## ตรวจเอกสาร

### ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อบอกระดับความเข้มข้นของความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย เหมือนกับที่ค่าอุณหภูมิบอกความร้อนหรือเย็นนั่นเอง ในทางวิทยาศาสตร์ pH มีค่าเท่ากับ logarithm ของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ซึ่งค่า pH สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน ถ้าสารละลายไฮโดรเจนไอออนมากจะยิ่งเป็นกรดมาก แต่ถ้าปริมาณไฮดรอกซิลไอออนมีมากกว่าไฮโดรเจนไอออนสารละลายนั้นจะเป็นด่าง และถ้าไอออนทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน สารละลายนั้นก็จะเป็กลาง (<http://www.clinictech.most.go.th>) โดยระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ซึ่งค่ากึ่งกลาง "7" แสดงถึงความเป็นกลางของสารละลายนั้น หากว่าค่า pH < 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นกรด และถ้าค่า pH > 7 ก็แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นด่าง (<http://www.fisheries.go.th/cs/trat/Bule/m.htm>)

### สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ใน Division Cyanophyta พบว่ามีชีวิตอยู่ประมาณ  $3 \times 10^9$  ปีมาแล้ว เป็น Prokaryotic microorganisms ชนิดแกรมลบ (Rassussen and Svenning, 1998) สามารถสังเคราะห์แสงได้ และบางชนิดมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเนื่องจากมีโครงสร้างที่คล้าย chloroplast ซึ่งได้รับมาจากการอยู่ร่วมกันระหว่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกับพืช และการมีเอนไซม์ ไนโตรจีเนส (nitrogenase enzyme) ตามลำดับจากการที่มีความหลากหลายทางสรีรวิทยา, สันฐานวิทยา และการพัฒนารูปร่างต่างๆ ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆหลากหลาย ได้แก่ หิน ดิน ทะเลทราย น้ำพุร้อน น้ำจืด น้ำทะเล และทะเลสาบ (Mazel et al, 1990)

โดยปกติเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินประกอบด้วยผนังเซลล์ (cell wall) หุ้มด้วย gelatinous sheath ภายในเซลล์มี thylakoid, ribosome, nucleus และเม็ดสีซึ่งอยู่ภายในส่วนที่เรียกว่า chromoplasm มี chlorophyll a ใช้ในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีเม็ดสีพวก carotenoid, phycobilins ซึ่งประกอบด้วย phycocyanins และ phycoerythrins ส่วนใหญ่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีสีเขียวแกมน้ำเงินแต่บางชนิดมีสีแดง สีเขียว สีม่วง สีน้ำตาล และสีดำ ไม่มีอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนที่แต่จะสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า-หลังได้ เช่น *Oscillatoria* อาหารจะเก็บสะสมในรูป cyanophycean starch ซึ่งได้แก่ไกลโคเจนและโปรตีน มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยจะมีการสร้างสปอร์เป็นโครงสร้างเรียกว่า akinete cell โดยจะสร้างผนังเซลล์ที่หนาขึ้นของเซลล์พื้นฐาน (vegetative cell) และสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ บางครั้งอาจสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sporangiospores จากการแบ่งตัวหลายๆ ครั้งของ protoplast ทำให้ผนังเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็น sporangium ซึ่งมี spore บรรจุอยู่ โดยทั้ง akinete และ sporangiospores ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างอื่นๆ เช่น heterocyst cell ซึ่งนอกจากจะเป็นที่อยู่ของเอนไซม์ไนโตรจีเนสแล้วยังเป็นส่วนที่ทำให้มีการแบ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นท่อนสั้นๆ ที่เรียกว่า hormogonia อีกด้วย ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้แก่ สกุล *Gloeocapsa*, *Merismoperdia*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Anabeana*, *Gloeotrichia*, *Rivularia* และ *Microcystis* เป็นต้น

จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาแบ่ง Cyanobacteria ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มที่ไม่มีเส้นสาย (Non-filamentous form หรือ Unicellular cyanobacteria) ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลม (coccioid form) พบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยวและอยู่กันเป็นกลุ่มแบบ palmelloid colonies ที่มีเมือกหุ้มอยู่ (firm mucilaginous envelopes) มีการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 3,... (amitotic) เช่น *Microcystis* sp.

2. กลุ่มที่เป็นเส้นสาย (Filamentous form) กลุ่มนี้เซลล์จะเรียงต่อกันเป็นเส้นสายเรียกว่า trichome พบได้หลายลักษณะ เช่น สกุล *Oscillatoria* จัดเป็นกลุ่มที่มีเส้นสายอย่างง่ายมีเซลล์ชนิดเดียวกัน (vegetative cell) มาเรียงต่อกัน เช่นเดียวกับ *Lyngbya* เรียกว่า homocystous forms ส่วนกลุ่มเส้นสายที่มีเซลล์มากกว่า 1 ชนิด มาเรียงต่อกัน โดยนอกจากจะมี vegetative cell แล้วยังมี heterocyst cell ซึ่งมีผนังเซลล์หนา 2 ชั้น ชั้นนอกเป็น polysaccharide ส่วนชั้นในเป็น glycolipid เพื่อจำกัดการเข้าของออกซิเจน เรียงสลับหรืออยู่ปลายสุดของเส้นสาย trichome เรียกว่า heterocystous forms เช่น *Nostoc* sp. และ *Anabeana* sp. เป็นต้น บางชนิดมีลักษณะเป็น spirally coiled ได้แก่ *Arthrospira* sp. และ *spirulina* sp. บางชนิดมีลักษณะเป็น tube-like ที่มีเมือกหุ้ม (mucilaginous sheath) ได้แก่ *Lyngbya* sp. และยิ่งไปกว่านั้นยังมีการแบ่งเป็นลักษณะที่ไม่มีกิ่งก้าน (unbranched group) เช่น *Oscillatoria* sp. และ *Lyngbya* sp. และมีกิ่งก้าน (branched group) เช่น *Scytonema* sp. และ *Torypothrix* sp. เป็นต้น (<http://vishnu.sut.ac.th/csu/doc/Cyanobacteria.doc>)

ลักษณะของ Cyanobacteria แต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลองซึ่งอยู่ใน Division Cyanophyta (ยิวดี, 2549)

1 *Spirulina* sp. อยู่ใน Order Oscillatoriales, Family Pseudanabaenaceae เป็นเส้นสายที่มีลักษณะเป็นเกลียวคล้ายสว่าน ทริโคมขดเป็นเกลียว เกลียวนี้อาจแน่นหรือห่าง ไม่มีซีทหุ้ม แต่ก่อนเชื่อว่า *Spirulina* นั้นเป็นเซลล์เพียงเซลล์เดียว เพราะไม่มีผนังมากนัก แต่เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า *Spirulina* ก็เหมือนกับสาหร่ายชนิดอื่นๆ คือประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์

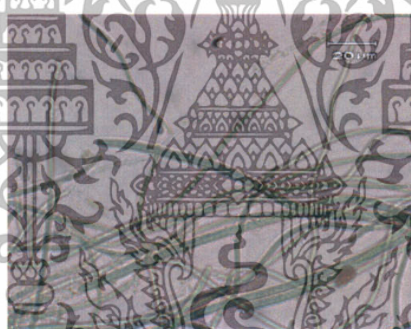
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาต่อกัน แต่ผนังเซลล์แต่ละเซลล์บางมาก จึงมองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา มีการเคลื่อนไหวแบบควงส่ววน (spiral movement) และสาหร่ายในสกุลนี้มีโปรตีนสูงมาก



ภาพที่ 1 *Spirulina* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กำลังขยาย 40x

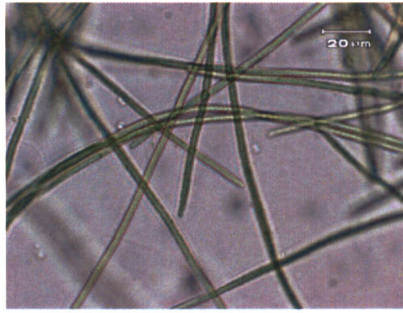
2 *Phormidium* sp. อยู่ใน Order Oscillatoriales, Family Phormidiaceae เป็นเส้นสายที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มสานกันเป็นแผ่นเซลล์ มีลักษณะเป็นสีเขียวเข้มผิวมันวาว หรือทรงกระบอกเรียงต่อกัน มีความกว้างของเซลล์สม่ำเสมอตลอดสาย ยกเว้นตรงปลายกลมมน บางชนิดอาจมีคาลิปตรา มีซีทหุ้มเส้นสายบางๆ ซีทไม่มีสี บางชนิดก็ซีทโพลีออกมาออกทรีย์โคม พบในสภาพคล้าย *Oscillatoria*



ภาพที่ 2 *Phormidium* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กำลังขยาย 40x

3 *Oscillatoria* sp. อยู่ใน Order Oscillatoriales, Family Oscillatoriaceae เป็นเส้นสายที่อาจอยู่เดี่ยวๆ แต่อาจจะมีการรวมกลุ่มกันอย่างหนาแน่นในบางสภาพ โดยทั่วไปเซลล์ในเส้นสายมีความกว้างมากกว่าความยาวของเซลล์ แต่มีบางชนิดมีความกว้าง และความยาวของเซลล์ใกล้เคียงกัน ขนาดของเซลล์สม่ำเสมอตลอดสาย เซลล์ยอดจะมีลักษณะกลมมน บางชนิดจะมีคาลิปตราหุ้ม เส้นสายของสาหร่ายชนิดนี้ไม่มีซีทหุ้ม แต่จะมีน้ำใสๆ ที่เรียกว่า วอเตอร์ชีท (watery sheath) หุ้มอยู่ ไม่มีเฮทเทอโรซิสต์ สืบพันธุ์ได้โดยการขาดออกเป็นท่อนๆ ตรงตำแหน่งของเซเพอเรชันดิส หรือเซลล์ตาย เซลล์ที่ตายจะฉีกขาดตามความยาวของเซลล์ ได้เป็นฮอริโมนเพื่อออกเป็นสายใหม่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 *Oscillatoria* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x

4 *Nostoc* sp. อยู่ใน Order Nostocales, Family Nostocaceae มีลักษณะเป็นเส้นสาย คล้าย *Anabeana* มาก แต่เส้นสายจะบิดงอมากกว่า และอยู่รวมกันเป็นจำนวนมาก โดยฝังตัวอยู่ในสารเมือกที่มีลักษณะเป็นก้อนหนา มองดูเป็นก้อน ต้องขยี้เมือกที่หุ้มออกก่อน จึงจะเห็นเส้นสายจำนวนมาก เซลล์มีลักษณะกลม หรือค่อนข้างกลม เฮเทอโรซิสต์และอะคินิทจะอยู่ติดกัน หรือใกล้เคียงกัน และอยู่ในเส้นสาย



ภาพที่ 4 *Nostoc* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x

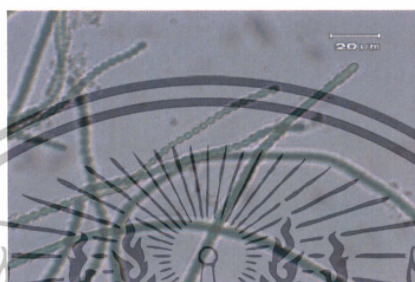
5 *Stigonema* sp. อยู่ใน Order Stigonematales, Family Stigonemataceae ลักษณะของทาลัสส์คล้าย *Nostochadopsis* แต่เส้นสายประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันมากกว่าหนึ่งแถว มีซีทหุ้มหนา เฮเทอโรซิสต์มีขนาดเล็กและอยู่ภายใน เส้นสายแตกแขนงโดยไม่จำกัดทิศทาง อาจมีการสร้างฮอริโมโกเนียมตรงปลายแขนงที่แตกใหม่ สาหร่ายชนิดนี้พบอยู่ในน้ำ โดยเป็นอีพิไฟต์บนต้นไม้ น้ำ หรืออาจเกาะติดกับสิ่งที่ย่อยอยู่ในน้ำ หรืออาจอยู่บนดินหรือหินที่เปียกชื้น



ภาพที่ 5 *Stigonema* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้ แสง กำลังขยาย 40x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 *Fischerella* sp. อยู่ใน Order Stigonematales, Family Fischerellaceae ตรีโคมเป็นเส้นสายคล้ายลูกบิด มีซีทหุ้มหนา แตกแขนงแบบแท้จริง โดยแตกออกทางด้านข้าง กิ่งก้านเป็นรูปทรงกระบอก เซโทโรซิสต์อยู่ภายในเส้นสาย เซลล์มีรูปร่างวงกลม บริเวณโคนเส้นสาย เซลล์เป็นรูปทรงกระบอกบริเวณกิ่งก้าน อาจพบอะคินีทในบริเวณโคนของตรีโคม ตรีโคมอยู่รวมกลุ่มรวมกันเป็นทาลัสส์ มีเซลล์แถวเดียวหรือหลายแถว เคลื่อนที่ได้อย่างช้าๆ เซลล์แบ่งตามแนวขวาง สืบพันธุ์โดยใช้ไฮโมโกเนียที่ขาดออกมาจากบริเวณปลายเส้นสาย บางชนิดอาศัยอยู่บนพื้นดินที่มีความชื้น เปือกหรือเกาะอยู่บนก้อนหิน



ภาพที่ 6 *Fischerella* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กำลังขยาย 40x

7 *Hapalosiphon* sp. มีลักษณะเป็นเส้นสายมีการแตกแขนงแท้ (True branch) ซึ่งเป็นการแตกแขนงที่พบในสาหร่ายที่มักเกาะอยู่กับพื้น



ภาพที่ 7 *Hapalosiphon* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กำลังขยาย 40x

8 *Mastigocladopsis* sp. มีลักษณะเป็นเส้นสายเรียงตัวกันแถวเดียวแตกแขนงรูปตัววี แขนงจะออกมาจากเส้นสายเดิมทางด้านข้างด้านเดียวมีขนาดสั้น ๆ และมีการแตกแขนงแท้และไม่แท้จริงมีเซโทโรซิสต์อยู่ภายในเส้นสาย มีขนาดใหญ่ เป็นสาหร่ายที่อาศัยในน้ำจืด



ภาพที่ 8 *Mastigocladopsis* sp. โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กำลังขยาย 40x นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กระบวนการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสง คือ กระบวนการซึ่งพืชสังเคราะห์สารอินทรีย์จากสารประกอบ อนินทรีย์ โดยมีแสงปรากฏอยู่ด้วย สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและรักษาสภาพเดิมให้คงอยู่ สำหรับพืชชั้นสูง และแบคทีเรียบางชนิดสามารถรับพลังงานโดยตรงจากแสงอาทิตย์ และใช้พลังงานนี้ในการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ แต่สัตว์ไม่สามารถรับพลังงานโดยตรงจากแสงอาทิตย์ ต้องรับพลังงานโดยการบริโภคพืชและสัตว์อื่น ดังนั้นแหล่งของ พลังงานทางเมตาบอลิซึมในโลกคือ ดวงอาทิตย์ และกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงจำเป็นสำหรับชีวิตบนโลก

ประโยชน์ของการสังเคราะห์แสง

1. เป็นกระบวนการสร้างอาหารเพื่อการดำรงชีวิตของพืช
2. เป็นกระบวนการซึ่งสร้างสารประกอบชนิดอื่น ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช
3. เป็นกระบวนการซึ่งให้ก๊าซออกซิเจนแก่บรรยากาศ
4. ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในสภาวะสมดุล

การที่พืชรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ได้โดยตรงนี้ พืชต้องมีกลไกพิเศษ คือ มีรงควัตถุ (Pigment) สีเขียว ซึ่งเรียกว่า คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน Pyrrole 4 วง เรียงติดกัน มี Mg อยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นส่วนที่ดูดแสงเรียกว่า Head ส่วน Tail คือ Phytol ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในการจับพลังงานจากแสง นอกจากคลอโรฟิลล์แล้ว รงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงยังมีแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และไฟโคบิลินส์ (Phycobilins) สิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงได้จะมีรงควัตถุหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิด คลอโรฟิลล์ เอ นั้นจัดว่าเป็น primary pigment ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่น ๆ ต้องรับแสงแล้วจึงส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ เอ เรียกว่าเป็น Accessory pigment ในพืชชั้นสูงทั่ว ๆ ไปจะมีคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าคลอโรฟิลล์ บี ประมาณ 2-3 เท่า ส่วนแบคทีเรียบางชนิด เช่น Green bacteria และ Purple bacteria จะมีรงควัตถุซึ่งเรียกว่า Bacteriochlorophyll ซึ่งปรากฏอยู่ในไรลาโคอยด์ การสังเคราะห์แสงของแบคทีเรียจะต่างจากการสังเคราะห์แสงของพืชชั้นสูง เพราะไม่ได้ใช้น้ำเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและโปรตอน แต่ใช้  $H_2S$  แทน และเมื่อสิ้นสุดการสังเคราะห์แสงจะไม่ได้ก๊าซออกซิเจนออกมา แต่จะได้สารอื่นเช่นกำมะถัน

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการซึ่งประกอบด้วยกระบวนการสองกระบวนการใหญ่ๆคือ

1. การไหลของอิเล็กตรอนหรือ Light Reaction ซึ่งแบ่งเป็น

1.1 Hill Reaction ซึ่งคือ การแตกตัวของน้ำ โดยพลังงานแสง พบโดย Robert Hill เมื่อน้ำแตกตัวแล้ว จะให้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งตามธรรมชาติของการสังเคราะห์แสงตัวรับ อิเล็กตรอนคือ NADP ทำให้กลายเป็น NADPH ซึ่งเป็นสารที่มีศักยภาพในการรีดิวซ์สารอื่นสูงมาก และจะนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวิธ CO<sub>2</sub> ในกระบวนการต่อไป การที่น้ำแตกตัวเป็นออกซิเจนได้นี้ เกิดโดยพลังงานแสงที่คลอโรฟิลล์ ดูดแล้วส่งไปช่วยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่แยกโมเลกุลของน้ำ (Water Splitting enzyme) ให้เกิดปฏิกิริยาได้อิเล็กตรอนและก๊าซออกซิเจน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำคือโปรตอน ซึ่งจะใช้เป็นตัวพาอิเล็กตรอนและนำไปสร้างสารให้พลังงานสูง NADPH นอกจากนี้อิเล็กตรอนยังถูกส่งเข้าไปทดแทนอิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ซึ่งสูญเสียไปในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนดังจะได้อธิบายต่อไป

1.2 Photophosphorylation คือ การสังเคราะห์สารเคมีที่ให้พลังงานสูง ATP จากการไหลของอิเล็กตรอน จากน้ำไปสู่ NADP ซึ่ง NADP ไม่สามารถรับอิเล็กตรอนได้โดยตรง ต้องไหลผ่านสารอื่นๆหลายชนิดในระหว่างการไหลนี้ทำให้เกิด ATP ขึ้นมา

2. Enzymatic Reaction หรือ Dark Reaction เกิดในสโตรมาเป็นกระบวนการที่เปลี่ยน CO<sub>2</sub> ให้เป็นน้ำตาลสามารถเกิดได้ในที่มืดและที่มีแสง เนื่องจากแสงมีลักษณะเป็นคลื่นและมีพลังงานแสงจะมาในลักษณะเป็นควอนตา (Quanta) หรือโฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นพลังงาน พลังงานแต่ละโฟตอนจะเป็นส่วนผกผันกับความยาวคลื่นแสง ดังนั้นแสงสีม่วงและน้ำเงิน จะมีพลังงานมากกว่าแสงสีแดงและสีส้ม หลักพื้นฐานของการดูดซับแสง เรียกว่า Einstein's Law ซึ่งกล่าวว่า หนึ่งควอนตาใด ๆ สามารถดูดซับแสงได้ที่ละหนึ่งโฟตอน และหนึ่งโฟตอนนี้จะทำให้เกิดการ Excitation ของ อิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นอิเล็กตรอนที่หมุนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสในสภาพ Ground State นั่นเอง อิเล็กตรอนในสภาพ Excitation นี้สามารถหลุดออกไปจากนิวเคลียสได้ หนึ่งควอนตที่มีอิเล็กตรอนในสภาพ Excitation นั้นถือว่าอยู่ในสภาพ Excited State คลอโรฟิลล์และรงควัตถุอื่น ๆ อาจจะถูกอยู่ในสภาพ Excited State เป็นระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 10<sup>-9</sup> ของหนึ่งวินาที พลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน อาจจะถูกสูญเสียไปในรูปของความร้อนเมื่ออิเล็กตรอนกลับเข้าสู่ Ground State ซึ่งเกิดในกรณีที่คลอโรฟิลล์ได้รับแสง สีน้ำเงิน ดังนั้นแสงสีน้ำเงินจึงใช้ในการสังเคราะห์แสงไม่ได้ ดังเหตุผลข้างต้น แต่ถ้าคลอโรฟิลล์ได้รับแสงสีแดง จะทำให้คลอโรฟิลล์ อยู่ในสภาพ Excited แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปถึงจุดศูนย์กลางของปฏิกิริยาซึ่งจุดศูนย์กลางของปฏิกิริยานี้ อยู่ในไทลาคอยด์ (Thylakoids) ของคลอโรพลาสต์มีรงควัตถุที่เป็นคลอโรฟิลล์ เอ ร่วมกับโปรตีนบางชนิด แสงสีเขียวที่คลอโรฟิลล์ไม่ได้ดูดซับเอาไว้จะสะท้อนออกมาหรือผ่านไป ส่วนคาร์โบทีนอยด์จะดูดซับแสงสีน้ำเงินและม่วงและสะท้อนแสงสีเหลืองและแดงทำให้เห็นเป็นสีเหลือง ([http://www.eqplusonline.com/webboard\\_detail.php](http://www.eqplusonline.com/webboard_detail.php))

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับ การเจริญเติบโตของสาหร่าย ความเป็นกรด-ด่างของอาหารมีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพราะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ และแร่ธาตุอื่น ๆ ทั้งยังมีอิทธิพลโดยตรง และทางอ้อมต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสาหร่ายอีกด้วย โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.5-10.0 (<http://web.ku.ac.th/nk40/nk/data/11/fact2.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลของ pH ต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์(Chlorophyll fluorescence)ใน Cyanobacteria

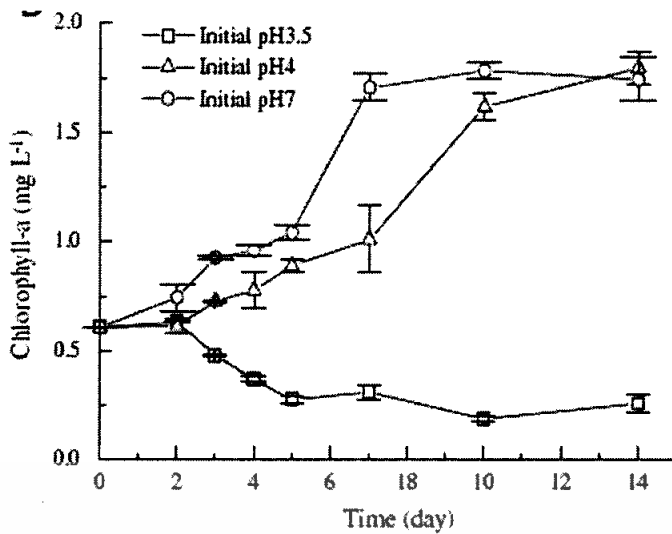
Chlorophyll fluorescence เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ PSII ในรูปค่า Fv/Fm จากการทดลองในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Synechococcus* sp. ที่สภาวะการเลี้ยงปกติระดับ pH 7.5 ประสิทธิภาพ Fv/Fm ช่วงที่กิจกรรมในการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วงที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีจะอยู่ในช่วง 0.75 -0.50 (Campbell *et al.*, 1998) แต่ก็มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมากกว่า 20 % ที่ถ้าประสิทธิภาพ Fv/Fm > 0.5 แสดงว่ากิจกรรมในการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วงที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี และถ้า Fv/Fm < 0.5 แสดงว่ากิจกรรมในการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตคงที่ไม่มีการพัฒนาขึ้น (Parésys *et al.*, 2005) และ Papageorgiou and Govindjee (1971) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Anacystis nidulans* ที่ระดับ pH 4 – 10 เป็นเวลา 6 วัน พบว่าที่ระดับ pH 4 มีค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด

การเปลี่ยนแปลงเบื้องต้นค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์จะสะท้อนให้เห็นกระบวนการสังเคราะห์แสง PSII เนื่องจากหน้าที่ของระบบ PSII จะมีความไวในอัตรากว้างต่อความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Lu *et al.*, 2000)

### ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

#### 1. ผลของ pH ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์

Raungsomboon *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงผลของ pH ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Gloeocapsa* sp. ที่ระดับ pH 3.5-7 ในอาหารเลี้ยง Medium 18 ภายใต้ระดับแสง 400 ไมโครโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยวัดค่าในวันที่ 0, 2, 3, 4, 5, 7, 10 และ 14 พบว่าที่ระดับ pH 3.5 และ 4 ปริมาณของคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มลดต่ำลงจากที่ระดับ pH 7 จนถึงวันสุดท้าย แต่ที่ระดับ pH 4 ในวันสุดท้ายปริมาณคลอโรฟิลล์กลับเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า ระดับ pH 7 (ภาพที่ 9)



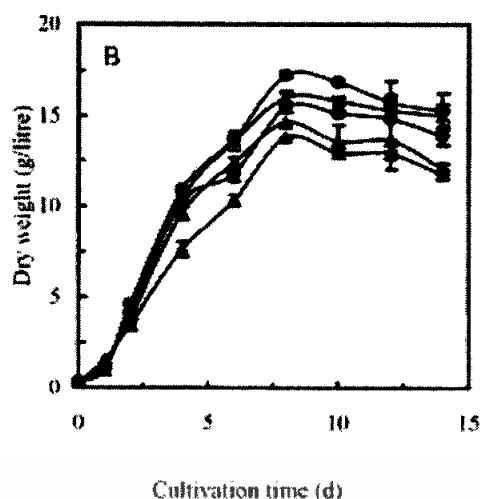
ภาพที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของ *Gloeocapsa* sp. ระหว่างการเจริญเติบโต ที่ระดับ pH ต่างกัน  
ที่มา : Raungsomboon et al. (2007)

เนื่องจากที่ระดับ pH ต่ำ สาหร่ายจะมีการปรับตัว โดยจะมีกลไกในการป้องกันเซลล์คือจะมีการดึงพวกประจุบวกลดลง ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Ni}^{2+}$ ) และเพิ่มการดึงประจุลบ ( $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$ ) และยังพัฒนาให้ผนังเซลล์สามารถขับไล่พวกประจุบวกให้ออกนอกเซลล์ (Rai et al., 1996)

## 2. ผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักรวม

Fang and Zhong (2002) ได้ทดลองถึงผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักรวมของ *Ganoderma lucidum* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 35 กรัมต่อลิตร, เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร, สารสกัดยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1 กรัมต่อลิตร,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 กรัมต่อลิตร และวิตามินบี 1 0.05 กรัมต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 เป็นเวลา 15 วัน พบว่าตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 8 ทุกระดับ pH สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีค่าน้ำหนักรวมมากที่สุดในวันที่ 8 ดังนี้  $13.80 \pm 0.01$ ,  $14.60 \pm 0.02$ ,  $15.50 \pm 0.30$ ,  $17.30 \pm 0.12$  และ  $16.00 \pm 0.37$  กรัม/น้ำหนักรวมต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 ตามลำดับ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ที่ระดับ pH ต่ำ ปริมาณน้ำหนักรวมก็จะน้อยตามไปด้วย (ภาพที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 ผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร) ของ *Ganoderma lucidum* ที่ระดับ pH 3.5 (สามเหลี่ยมทึบ), 4.5 (สามเหลี่ยมกลวง), 5.5 (วงกลมทึบ), 6.5 (วงกลมกลวง) และ 7.0 (กากบาท)

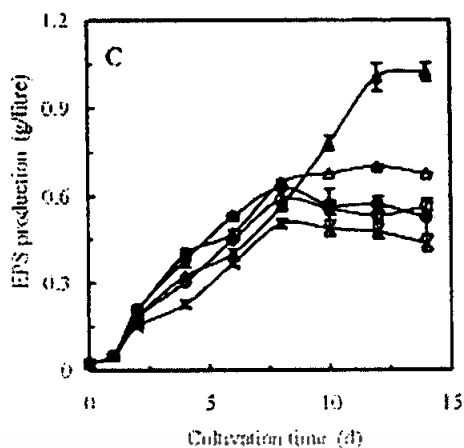
ที่มา : Fang and Zhong (2002)

#### ผลของ pH ต่อปริมาณสารอาหารของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

##### 1. ผลของ pH ต่อปริมาณ Extracellular polysaccharide (EPS)

Fang and Zhong (2002) ได้ทดลองถึงผลของ pH ต่อปริมาณ EPS ของ *Ganoderma lucidum* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 35 กรัมต่อลิตร, เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร, สารสกัดยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1 กรัมต่อลิตร,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 กรัมต่อลิตร และวิตามินบี 1 0.05 กรัมต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 เป็นเวลา 15 วัน พบว่าตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 8 ทุกระดับ pH มีการเพิ่มปริมาณของ EPS ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่หลังจากวันที่ 8 ที่ระดับ pH 3.5 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ EPS เนื่องจากสาหร่ายมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมด้วยการสร้างกลไกป้องกันเซลล์ ส่วนระดับ pH อื่นๆ มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณ EPS (กรัมต่อลิตร) *Ganoderma lucidum* ที่ระดับ pH 3.5 (สามเหลี่ยม  
ทึบ), 4.5 (สามเหลี่ยมกลวง), 5.5 (วงกลมทึบ), 6.5 (วงกลมกลวง) และ 7.0 (กากบาท)  
ที่มา : Fang and Zhong (2002)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

### อุปกรณ์

- |                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| 1. ขวดน้ำเกลือ                        | 2. ปีกเกอร์แก้ว  |
| 3. หลอดแก้ว                           | 4. หลอดพลาสติก   |
| 5. จานเลี้ยงเชื้อ                     | 6. ขวดรูปชมพู่   |
| 7. Volume metric flask                | 8. กระจกตวง      |
| 9. Pipette                            | 10. Micropipette |
| 11. กรวยกรองพลาสติก                   | 12. ผ้ากรอง      |
| 13. กระจกฟรอยด์                       | 14. Lack         |
| 15. แท่งแก้วคนสาร                     | 16. Cuvett แก้ว  |
| 17. Vortex mixer                      | 18. ซ้อนตักสาร   |
| 19. เครื่องขังสาร                     | 20. Hot air oven |
| 21. Autoclave                         | 22. Larmina flow |
| 23. Spectrophotometer                 | 24. pH meter     |
| 25. water bath                        | 26. Dessicator   |
| 27. สายยาง                            | 28. ถุงพลาสติกดำ |
| 29. เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ | 30. น้ำกลั่น     |

### สารเคมี

- |   |   |
|---|---|
| 1. $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 5%                  | 7. metanol  |
| 2. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1% | 8. $\text{NaKC}_4\text{H}_6\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2% |
| 3. Folin-Ciocalteau reagent                     | 9. NaOH 1 โมล   |
| 4. bovine serum albumin (BSA)                   | 10. glucose   |
| 5. phenol solution                              | 11. Con. $\text{H}_2\text{SO}_4$ (AR grade)                         |
| 6. $\text{HNO}_3$                               |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการ

### แผนการทดลอง

1. ผลของ pH ต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) ใน cyanobacteria

1.1. ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การวางแผนการทดลอง กำหนดการวางแผนการทดลองเป็นระบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยกำหนดระดับ pH ที่ต่างกันเป็นชุดการทดลอง (Treatment) ดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (Treatment 1) ระดับ pH 3

ชุดการทดลองที่ 2 (Treatment 2) ระดับ pH 3.5

ชุดการทดลองที่ 3 (Treatment 3) ระดับ pH 4

ชุดการทดลองที่ 4 (Treatment 4) ระดับ pH 4.5

ชุดการทดลองที่ 5 (Treatment 5) ระดับ pH 5

ชุดการทดลองที่ 6 (Treatment 6) ระดับ pH 6

ชุดการทดลองที่ 7 (Treatment 7) ระดับ pH 7

แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (Replication) โดยวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ในสาหร่ายที่ทดลอง 8 ชนิด ได้แก่ *Oscillatoria* sp., *Hapalosiphon* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Fischerella* sp., *Nostoc* sp. และ *Spirulina* sp.

1.2 ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกันเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

วางแผนการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 1.1 แต่เพิ่มระยะเวลาเลี้ยงเป็น 48 ชั่วโมง โดยควบคุมระดับ pH ทุก 24 ชั่วโมง

2. ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของ cyanobacteria ที่ระดับ pH 2 ระดับ คือ 4.5 และ 7

การวางแผนการทดลอง กำหนดการวางแผนการทดลองเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองประชากร t-test โดยกำหนดระดับ pH ที่ต่างกันเป็นชุดการทดลอง (Treatment) ดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (Treatment 1) ระดับ pH 4.5

ชุดการทดลองที่ 2 (Treatment 2) ระดับ pH 7

แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (Replication) โดยวัดค่าการเจริญเติบโต ( ปริมาณคลอโรฟิลล์, น้ำหนักแห้ง, ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงในรอบวัน, ปริมาณโปรตีน, ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เซลล์สาหร่าย และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง) ของสาหร่ายที่ทดลอง 8 ชนิด ได้แก่ *Oscillatoria* sp., *Hapalosiphon* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Fischerella* sp., *Nostoc* sp. และ *Spirulina* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการทดลอง

เลี้ยงสาหร่าย 8 ชนิด ได้แก่ *Oscillatoria* sp., *Hapalosiphon* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigophora* sp., *Fischerella* sp., *Nostoc* sp. และ *Spirulina* sp. ก่อนการทดลอง 1 เดือน ในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร โดยใช้ปุ๋ยสูตร Blue – Green ( BG – 11 medium ) ที่ pH 7 ที่ 25 – 27 °C

1. ผลของ pH ต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) ใน cyanobacteria

1.1. ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.1.1. เตรียมอาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร BG-11 โดยปรับระดับ pH เป็น 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 จากนั้นนำไป autoclave มาเชื้อ ที่ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที (ทิ้งไว้ให้เย็น)

1.1.2. นำอาหารเลี้ยงปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่ระดับ pH ต่างๆมาใส่หลอดทดลองขนาด 125 มิลลิลิตร

1.2.3. ชั่งสาหร่าย 1 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง (ทำในสาหร่ายทุกชนิด โดยระดับ pH ละ 3 ข้าง)

1.2.4. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (ก่อนวัดต้องทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที)

1.2. ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.2.1. ทำตามขั้นตอนเดียวกับข้อ 1.1.1-1.2.3

1.2.2. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และปรับระดับ pH ทุก 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (ก่อนวัดต้องทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที) ค่าที่วัดได้จากคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

F<sub>o</sub> คือ ค่าการเรืองแสงของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ที่ความเข้มของแสงต่ำ (fluorescent สีแดง)

F<sub>m</sub> คือ ค่าการเรืองแสงของโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ที่ความเข้มของแสงสูง (เท่าแสงแดดจัด)

F<sub>v</sub> คือ ค่า variable F หาได้จาก F<sub>m</sub>-F<sub>o</sub>=F<sub>v</sub>

F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> คือ ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงที่สูงสุดในศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงที่ PSII (maximum PSII photochemical yield)

2. ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของ cyanobacteria

2.1 เตรียมอาหารเหลวสูตร BG-11 (ไม่เติม EDTA) สำหรับเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp., *Hapalosiphon* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Fischerella* sp. และ *Nostoc* sp. และอาหารเหลวสูตรสไปรูไลนา สำหรับเลี้ยง *spirulina* sp. ใส่ขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Clave ฆ่าเชื้อที่ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที (ทิ้งไว้ให้เย็น)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 เลี้ยงสาหร่ายในขวดทดลอง โดยเติมสาหร่าย 50 มิลลิลิตรต่ออาหารเลี้ยง 1000 มิลลิลิตร

2.3.2 แบ่งชุดการทดลอง 2 ชุด ชุดละ 3 ขี้ ดังนี้ (ในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Fischerella* sp. และ *Nostoc* sp.)

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 7

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 4.5

*Oscillatoria* sp.

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 7

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 5.5

*spirulina* sp.

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 7

-เลี้ยงสาหร่ายที่ pH 6

2.3.5 เลี้ยงสาหร่ายโดยให้อากาศตลอด 24 ชั่วโมง ควบคุมการให้แสง 12:12 (มืด:สว่าง) และควบคุม pH ให้เท่ากับ pH เริ่มต้นทุกวัน

2.3.6 วัดค่าการเจริญเติบโตโดยวัด 3 วันต่อ 1 ครั้ง

- ปริมาณคลอโรฟิลล์

1. เก็บสาหร่าย 5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชุดเซลล์ใส่หลอดทดลอง เติม เมทานอล 5 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้ว แล้วปั่นด้วยวอร์เท็กซ์ให้เซลล์แตก

2. นำมาต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 15 นาที (สัปดาห์กระดาศพิษ)

3. วางทิ้งไว้ให้เย็น นำเข้าเครื่อง centrifuge ที่ 3000 รอบต่อ 5 นาที

4. วัดค่า absorbance ที่ 665 นาโนเมตร

#### วิธีการคำนวณ

ค่า absorbance  $\times 12.65 =$  (มิลลิกรัมต่อลิตร)

- ปริมาณน้ำหนักแห้ง

1. อบกระถางฟรอยด์ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน dessicater แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2. เก็บสาหร่าย 5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชุดเซลล์ใส่กระถางฟรอยด์ที่อบแล้ว

3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน dessicater แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

#### วิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (กรัมต่อลิตร) = กระทง+สาหร่าย (อบแล้ว) – กระทงเปล่า (อบแล้ว)

- ปริมาณโปรตีน ทำตามวิธีของ Lowry's method

1. เตรียมสาร : Reagent A : 5%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

: Reagent B :1%CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O

: Reagent C : 2% NaKC<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>.4H<sub>2</sub>O

: Reagent D : ผสมสาร A 50 มิลลิลิตร+สาร B 1 มิลลิลิตร+สาร C (เตรียมใหม่ๆ)

: Folin-Ciocalteu reagent ( dilute 1:1 ด้วยน้ำกลั่น)

: NaOH 1 โมล

2. เก็บสาหร่าย 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเซลล์ ชูดเซลล์ให้หลอดทดลอง เติม NaOH ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 20 นาที

3. เติมสาร D ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดทดลอง ปั่นด้วยวอร์เท็กซ์ ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติม Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที

4. วัดค่า absorbance ที่ 750 นาโนเมตร

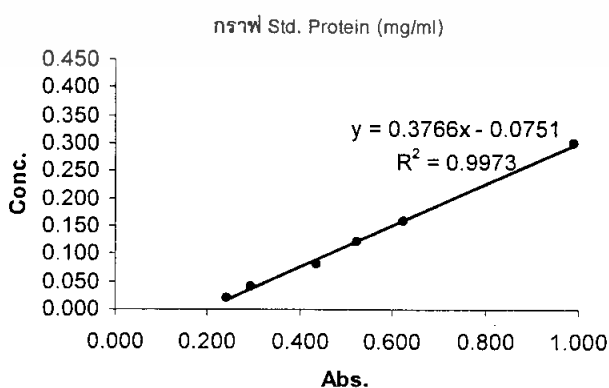
5. เตรียม standard curve: จาก stock ของสาร bovine serum albumin (BSA) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายเจือจางที่ 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ไมโครกรัมต่อ 0.5 มิลลิลิตร

### วิธีการคำนวณ

แทนค่าในสมการที่หาจาก กราฟมาตรฐาน  $Y = 0.3766x - 0.0751$  (ภาพที่ 12)

เมื่อ x คือ ค่า absorbance

แล้วทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย



ภาพที่ 12 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง 104543 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ทำตามวิธี Phenol – Sulphuric method

1. เตรียมสาร : สารละลายมาตรฐานของ กลูโคส

: สารละลายฟีนอล 5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

: กรด  $H_2SO_4$  (AR grade)

2. แบ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สำหรับ และ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายในน้ำ

3 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สำหรับ โดยเก็บสำหรับ 1 มิลลิลิตร แล้ว

4. นำมากรองเซลล์ ขูดเซลล์ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นในวอร์เท็ก

5. เติมกรด  $H_2SO_4$  ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ให้เสร็จภายใน 20 วินาที)

6. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

7. วัดค่า absorbance ที่ 485 นาโนเมตร

8. หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายในน้ำ โดยเก็บน้ำเลี้ยง 0.1 มิลลิลิตร แล้วนำมาเติมน้ำกลั่น 0.9 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตร แล้วปั่นในวอร์เท็ก

9. ทำการทดลองตามข้อ 5-7

10. เตรียม standard curve: จาก stock ของสารละลายกลูโคส ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำเป็นสารละลายเจือจางที่ 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ไมโครกรัมต่อ 1 มิลลิลิตร

### วิธีการคำนวณ

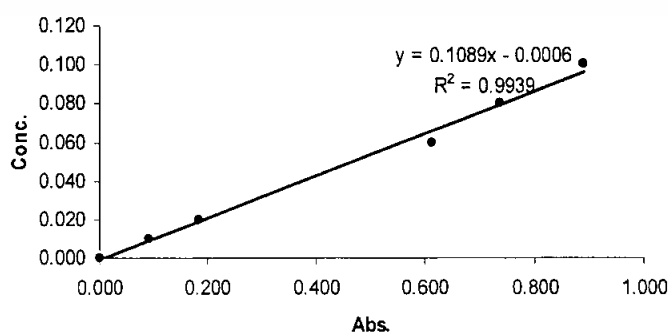
แทนค่าในสมการที่หาจาก กราฟมาตรฐาน  $Y = 0.1089x - 0.0006$  (ภาพที่ 13)

เมื่อ x คือ ค่า absorbance

คาร์โบไฮเดรตจากเซลล์สำหรับทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสำหรับ

คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในน้ำเลี้ยงทำเป็นหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

กราฟ Std. Carbohydrate ( mg/ml)



### ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่ามาตรฐานของคาร์โบไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์ผล

นำข้อมูลต่าง ๆ ที่บันทึกได้นำมาวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และใช้โปรแกรม SPSS version 10 เป็นโปรแกรมในการวิเคราะห์แบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองตามวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูล และโปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์แบบ t-test

## สถานที่ทำการทดลอง

- 1.ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2.ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์

## ระยะเวลาในการทดลอง

ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2550 ถึง เดือนมีนาคม 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. ผลของตะกั่วต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll fluorescence) ใน cyanobacteria

#### 1.1 ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ โดยศึกษาจากค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ของ Cyanobacteria ที่เลี้ยงใน pH ที่ระดับต่าง ๆ กันในสาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fischerella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ต่าง ๆ กัน ดังนี้ 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งปฏิกิริยาการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ที่อุณหภูมิห้องแสดงได้จากค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงที่สูงสุดในศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงที่ PSII (Fv/Fm) พบว่า สาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถทนต่อระดับ pH ต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) โดยที่ระดับ pH 3 พบการตายในสาหร่าย *Fischerella* sp. (0.00±0.00), *Nostoc* sp. (0.00±0.00) และ *Phormidium* sp. (0.00±0.00) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH ส่วน *Oscillatoria* sp. (0.00±0.00) พบการตายที่ระดับ pH 3 และ 3.5 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH และ *Spirulina* sp. (0.00±0.00) พบการตายที่ระดับ pH 3, 3.5 และ 4 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH เนื่องจากค่า Fv/Fm ที่ได้มีค่าเป็น 0 และค่า Fv/Fm น้อยที่สุดในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. (0.03±0.00), *Stigonema* sp. (0.03±0.00), *Mastigocladopsis* sp. (0.03±0.00) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับ pH ค่า Fv/Fm มากที่สุดที่ระดับ pH 7 ในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. (0.51 ± 0.01), *Nostoc* sp. (0.28 ± 0.00), *Oscillatoria* sp. (0.33 ± 0.00), *Stigonema* sp. (0.37 ± 0.01), *Fischerella* sp. (0.52 ± 0.02), *Phormidium* sp. (0.41 ± 0.01), *Mastigocladopsis* sp. (0.51 ± 0.02) และ *Spirulina* sp. (0.19 ± 0.01) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับ pH โดยระดับ pH ที่ต่ำที่สุดที่สาหร่ายทุกชนิดสามารถทนได้คือระดับ pH ที่ 4.5 โดยดูได้จากเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) เมื่อได้รับความเป็นกรดที่ระดับ pH 4.5 พบว่าในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. (40.54%), *Nostoc* sp. (45.58%), *Oscillatoria* sp. (55.27%), *Stigonema* sp. (42.84%), *Fischerella* sp. (45.59%), *Phormidium* sp. (55.71%), *Mastigocladopsis* sp. (41.09%) และ *Spirulina* sp. (70.33%) (ตารางที่ 2) ดังนั้นสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ pH ต่าง ๆ แล้วสามารถทนต่อความเป็นกรดที่ต่ำที่ไม่ทำให้สาหร่ายทุกชนิดตาย โดยทนต่อระดับ pH ที่ 4.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ดีที่สุด คือ *Hapalosiphon* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่เลี้ยงด้วยระดับ pH ที่ต่างกัน โดยระยะเวลาการเลี้ยง 24 ชั่วโมง

ค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm)								
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Spirulina</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
3	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>
3.5	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>b</sup>
4	0.15 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>c</sup>
4.5	0.28 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.30 ± 0.00 <sup>d</sup>
5	0.37 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.22 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.39 ± 0.01 <sup>e</sup>
6	0.47 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.24 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>f</sup>
7	0.52 ± 0.02 <sup>g</sup>	0.51 ± 0.01 <sup>g</sup>	0.28 ± 0.00 <sup>g</sup>	0.33 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>g</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>g</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>g</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 2 แสดงค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH ต่างกัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 24 ชั่วโมง

ค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ที่ลดลงจากตัวควบคุม (%)								
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Spirulina</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
3	100	94.54	100	100	100	100	92.21	94.93
3.5	85.36	81.02	81.33	100	89.43	100	81.66	80.11
4	70.49	63.39	63.25	85.28	67.38	100	64.42	64.80
4.5	45.59	40.54	45.58	55.27	55.71	70.33	42.84	41.09
5	28.05	22.02	28.39	32.80	38.82	54.08	25.76	24.10
6	9.78	5.62	13.1	16.59	20.89	37.24	7.50	7.07

1.2 ผลของ pH ต่อ cyanobacteria ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ระดับ pH ต่างกัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ โดยศึกษาจากค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ของ Cyanobacteria ที่เลี้ยงใน pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fischerella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ต่างๆกัน ดังนี้ 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งปฏิกิริยาการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ที่อุณหภูมิห้องแสดงได้จากค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงที่สูงสุดในศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงที่ PSII (Fv/Fm) พบว่า สาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถทนต่อระดับ pH ต่างๆ ได้แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) โดยที่ระดับ pH 3 พบการตายในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ), *Mastigocladopsis* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ) และ *Phormidium* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH ส่วน *Fischerella* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ), *Nostoc* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ) และ *Oscillatoria* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ) พบการตายที่ระดับ pH 3 และ 3.5 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH และ *Spirulina* sp. ( $0.00 \pm 0.00$ ) พบการตายที่ระดับ pH 3, 3.5 และ 4 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับ pH เนื่องจากค่า Fv/Fm ที่ได้มีค่าเป็น 0 ค่า Fv/Fm มากที่สุดที่ระดับ pH 7 ในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. ( $0.56 \pm 0.01$ ), *Nostoc* sp. ( $0.40 \pm 0.00$ ), *Oscillatoria* sp. ( $0.38 \pm 0.00$ ), *Stigonema* sp. ( $0.44 \pm 0.00$ ), *Fischerella* sp. ( $0.60 \pm 0.02$ ), *Phormidium* sp. ( $0.42 \pm 0.00$ ), *Mastigocladopsis* sp. ( $0.54 \pm 0.01$ ) และ *Spirulina* sp. ( $0.21 \pm 0.00$ ) ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับ pH โดยระดับ pH ที่ต่ำที่สุดที่สาหร่ายทุกชนิดสามารถทนได้คือระดับ pH ที่ 4.5 โดยดูได้จากเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) เมื่อได้รับความเป็นกรดที่ระดับ pH 4.5 พบว่าในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. (44.82%), *Nostoc* sp. (50.24%), *Oscillatoria* sp. (55.50%), *Stigonema* sp. (46.84%), *Fischerella* sp. (54.00%), *Phormidium* sp. (46.55%), *Mastigocladopsis* sp. (46.32%) และ *Spirulina* sp. (66.90%) (ตารางที่ 4) ดังนั้นสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงที่ pH ต่างๆ แล้วสามารถทนต่อความเป็นกรดที่ต่ำที่ไม่ทำให้สาหร่ายทุกชนิดตาย โดยทนต่อระดับ pH ที่ 4.5 เป็นเวลา 48 ชั่วโมงได้ดีที่สุด คือ *Hapalosiphon* sp.

การเปลี่ยนแปลงเบื้องต้นค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์จะสะท้อนให้เห็นกระบวนการสังเคราะห์แสง PSII เนื่องจากหน้าที่ของระบบ PSII จะมีความไวในอัตรากว้างต่อความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Lu et al., 2000) และ Papageorgiou and Govindjee (1971) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Anacystis nidulans* ที่ระดับ pH 4 – 10 เป็นเวลา 6 วัน พบว่าที่ระดับ pH 4 ที่มีสภาพเป็นกรดมีค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่เลี้ยงด้วยระดับ pH ที่ต่างกัน โดยระยะเวลาการเลี้ยง 48 ชั่วโมง

ระดับ pH	ค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm)							
	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Spirulina</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
3	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
3.5	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>b</sup>
4	0.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>c</sup>
4.5	0.27 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.34 ± 0.02 <sup>d</sup>
5	0.35 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.11 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.42 ± 0.02 <sup>e</sup>
6	0.51 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.53 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.37 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.39 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.50 ± 0.02 <sup>f</sup>
7	0.60 ± 0.02 <sup>f</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>g</sup>	0.40 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.42 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.44 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>f</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

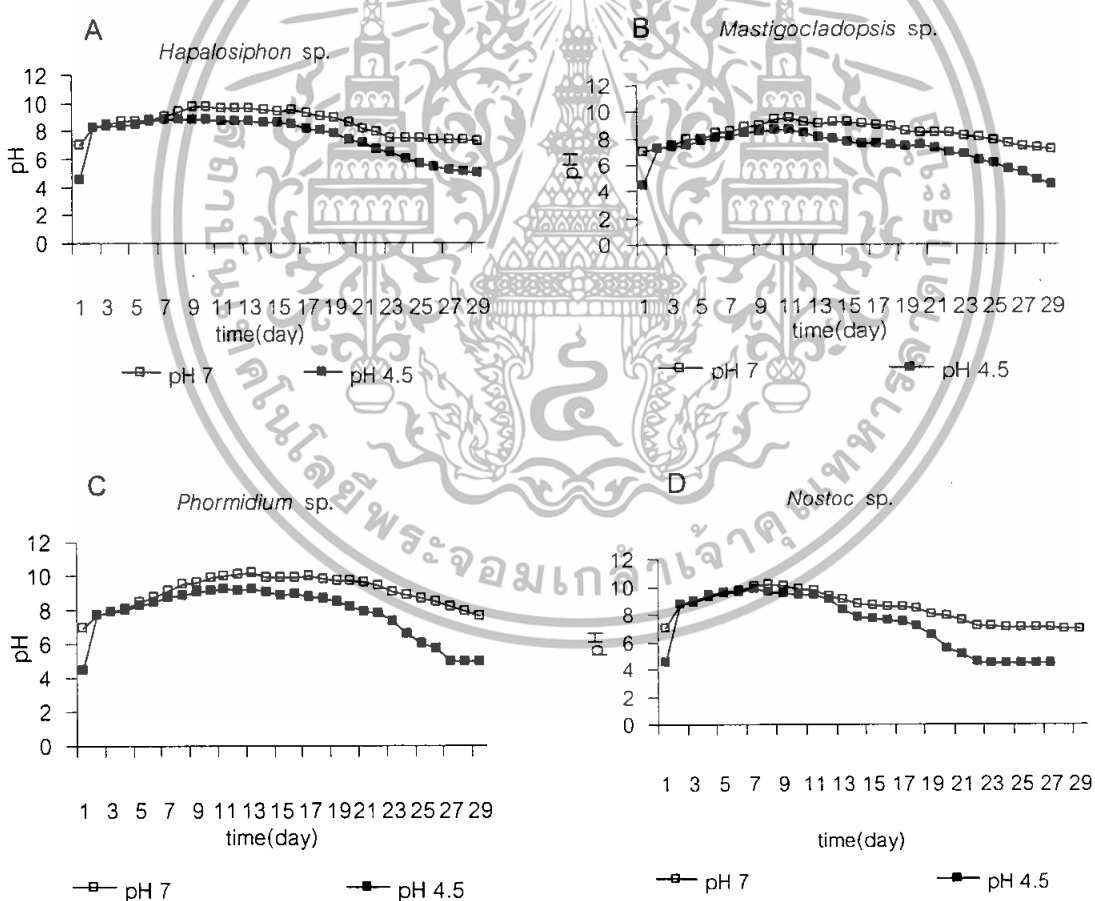
ตารางที่ 4 แสดงค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH ต่างกัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 48 ชั่วโมง

ค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ที่ลดลงจากตัวควบคุม (%)									
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Spirulina</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.	
3	100	100	100	100	100	100	100	100	
3.5	100	90.51	100	100	81.21	100	91.93	86.95	
4	83.57	79.58	77.26	76.50	75.36	100	68.30	62.90	
4.5	54.00	44.82	50.24	55.50	46.55	66.90	46.84	46.32	
5	40.67	14.54	24.67	29.89	12.27	48.69	31.66	21.45	
6	14.53	4.76	15.23	16.91	12.38	42.71	11.33	6.86	

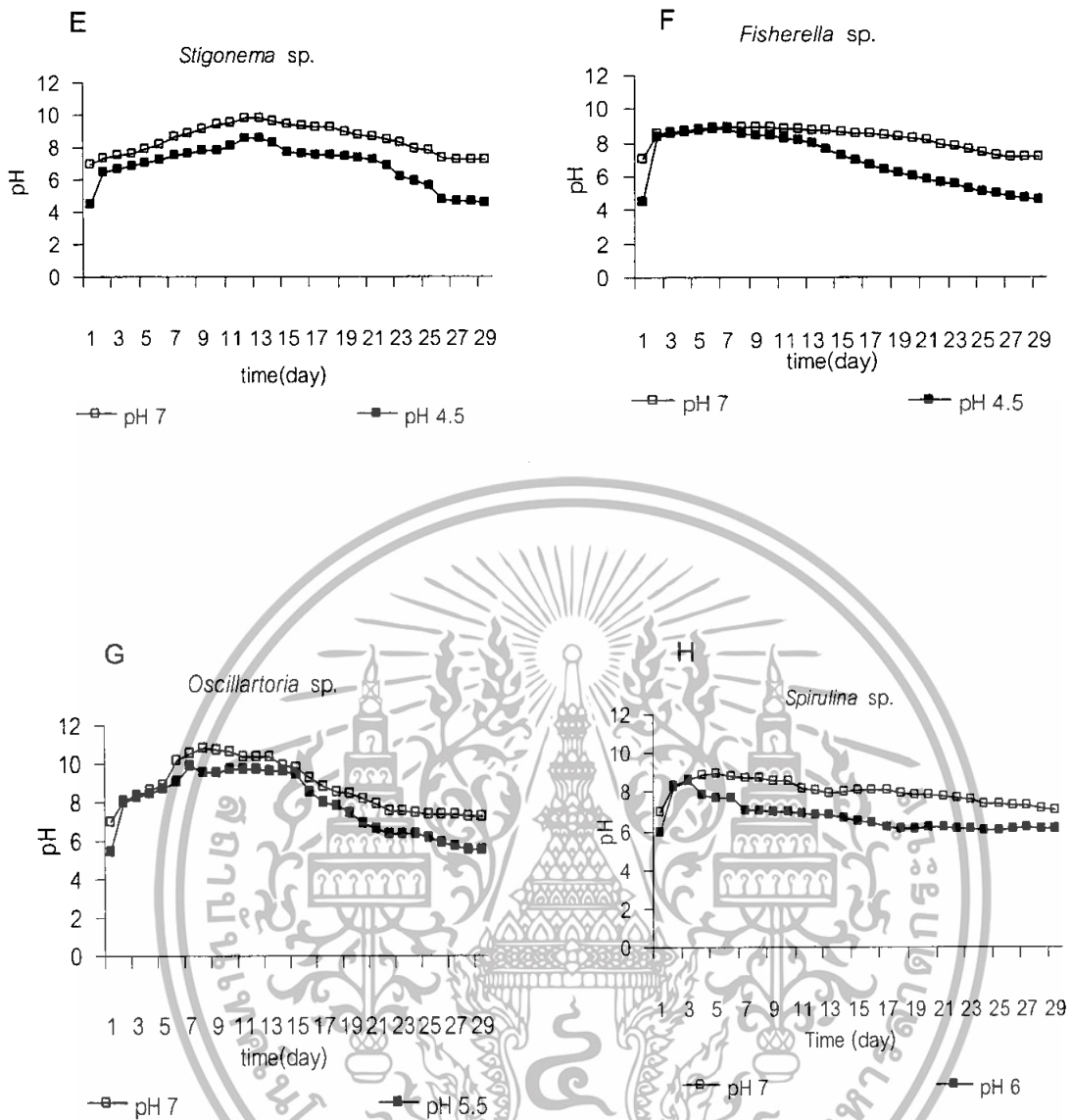
## 2. ผลของ pH ต่อการเจริญเติบโตของ cyanobacteria

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการเลี้ยง cyanobacteria

จากการศึกษาค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงของ cyanobacteria ที่เลี้ยงในระดับ pH 2 ระดับ คือ 7 และ 4.5 ในสาหร่าย cyanobacteria ชนิด *Hapalosiphon* sp., *Mastigocladopsis* sp., *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Stigonema* sp. และ *Fischerella* sp. ส่วนในสาหร่ายชนิด *Spirulina* sp. ศึกษาในอาหารเลี้ยงที่ pH 7 และ 6 สาหร่ายชนิด *Osillatoria* sp. ศึกษาในอาหารเลี้ยงที่ pH 7 และ 5.5 เป็นเวลา 30 วัน วัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงทุกวัน และทำการปรับระดับของ pH ให้เท่ากับค่าที่ทดลองครั้งแรกทุกวัน พบว่า สาหร่ายทุกชนิดมีแนวโน้มของระดับ pH เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือในช่วงแรก ค่า pH ในสาหร่ายแต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยสภาวะปกติ (pH7) มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากและมีการลดลงไม่มาก แต่ที่สภาวะเครียดระดับ pH ต่ำ พบว่า ช่วงระดับ pH มีการลดลงอย่างรวดเร็วในระยะหลัง (ภาพที่ 14)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



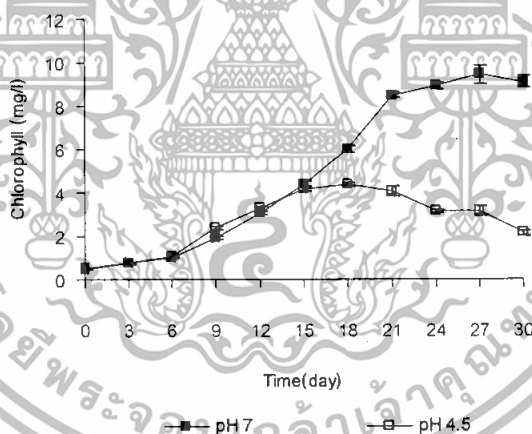
ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในแต่ละวันของสาหร่ายแต่ละชนิด

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) กับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ความเป็นกรด-ด่างของอาหารมีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพราะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ และแร่ธาตุอื่น ๆ ทั้งยังมีอิทธิพลโดยตรง และทางอ้อมต่อกระบวนการเมทาโบลิซึมของสาหร่ายอีกด้วย โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.5-10.0 (<http://web.ku.ac.th/nk40/nk/data/11/fact2.htm>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2. ผลของ pH ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของ Cyanobacteria

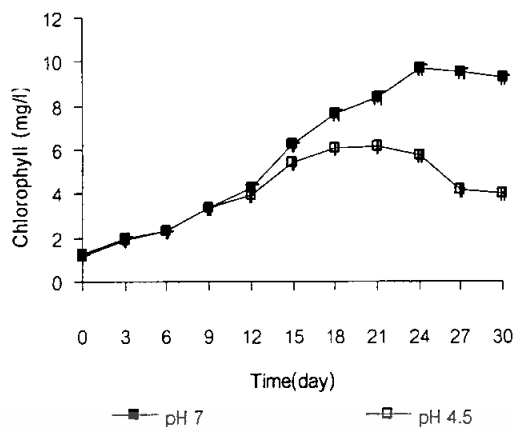
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของ Cyanobacteria จากการศึกษาค้นคว้าผลของ pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fisherella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc commune*, *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (4.5) *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (5.5) และ *Spirulina* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (6) ระหว่างการทดลองมีการปรับระดับ pH ให้เท่ากับวันเริ่มการทดลองทุกวัน โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า *Fisherella* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 15) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $9.10 \pm 0.26$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2.13 \pm 0.13$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) โดยลดลง 58.17 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

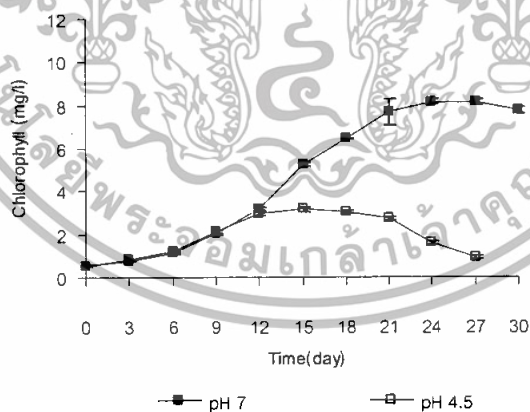
*Hapalosiphon* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 16) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $9.27 \pm 0.07$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 ที่ในวันสุดท้ายมีปริมาณคลอโรฟิลล์  $4.05 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) โดยลดลง 56.33 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

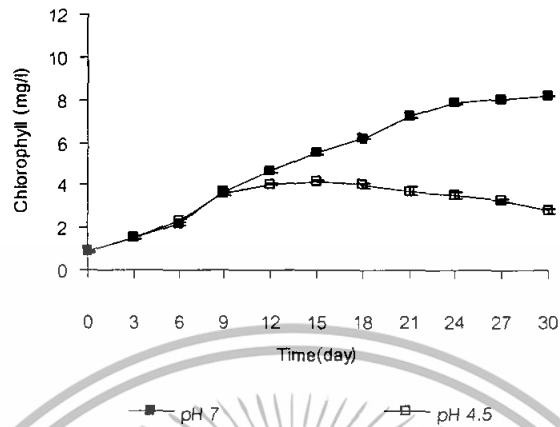
*Nostoc* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 17) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $7.74 \pm 0.17$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันที่ 27 ของการทดลอง  $0.90 \pm 0.07$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) ในวันสุดท้ายมีการตาย เเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 100 จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 17 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

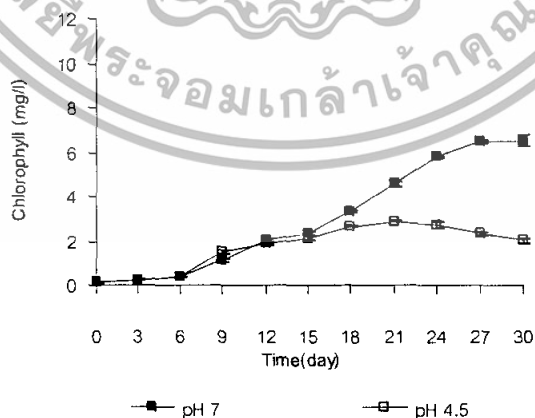
*Phormidium* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 9 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 18) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $8.24 \pm 0.05$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้าย  $2.80 \pm 0.11$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) โดยลดลง 65.95 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 18 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

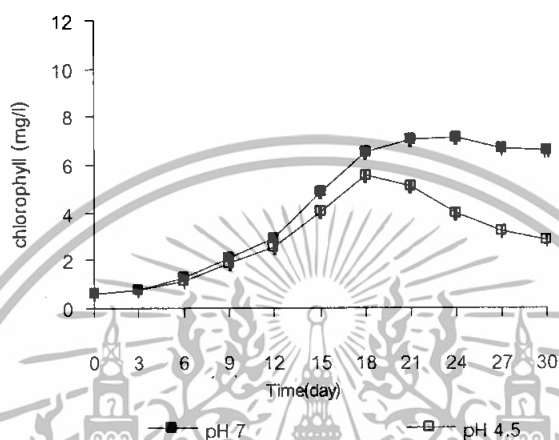
*Stigonema* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 19) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $6.53 \pm 0.29$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้าย  $2.01 \pm 0.10$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) โดยลดลง 69.00 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

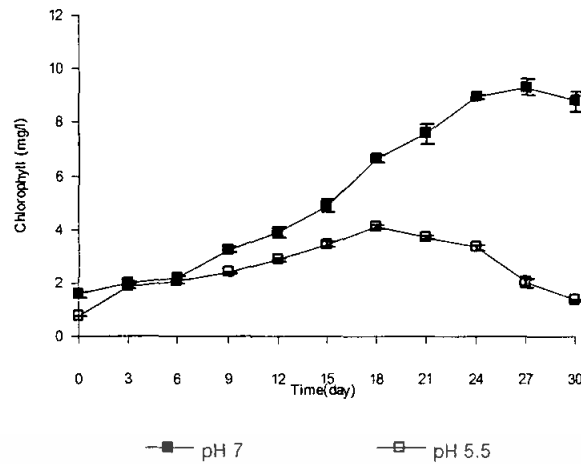
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Mastigocladopsis* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 20) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $6.57 \pm 0.18$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 4.5 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้าย  $2.85 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5) โดยลดลง 56.53 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 6)



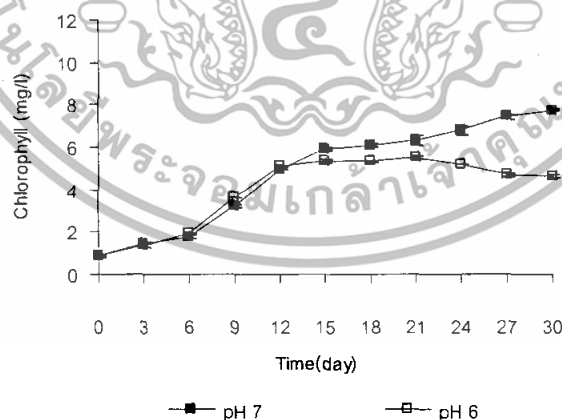
ภาพที่ 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 21) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $1.35 \pm 0.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้ายของการทดลอง  $8.84 \pm 0.37$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7) โดยลดลง 84.70 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 21 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Spirulina* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 22) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์  $4.63 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้ายของการทดลอง  $7.74 \pm 0.08$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7) โดยลดลง 57.13 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 22 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 (กลุ่มควบคุม) และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l)						
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
7	9.10±0.26 <sup>a</sup>	9.27±0.07 <sup>a</sup>	7.74±0.17 <sup>a</sup>	8.24±0.05 <sup>a</sup>	6.53±0.29 <sup>a</sup>	6.57±0.18 <sup>a</sup>
4.5	3.80±0.21 <sup>b</sup>	4.05±0.08 <sup>b</sup>	0.90±0.07 <sup>b</sup> (27)	2.80±0.11 <sup>b</sup>	2.01±0.10 <sup>b</sup>	2.85±0.04 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH 4.5

ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (%)						
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
4.5	58.17	56.33	100	65.95	69.00	56.53

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp.

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l)	ระดับ pH	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l)
7	8.84±0.37 <sup>a</sup>	7	7.74±0.08 <sup>a</sup>
5.5	1.35±0.04 <sup>b</sup>	6	4.63±0.08 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ (mg/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.)

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม(%)	ระดับ pH	ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม(%)
5.5	84.70	6	57.13

จากการทดลองพบว่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีผลต่อการเจริญเติบโตของ Cyanobacteria เห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ระดับ pH ต่ำ มีปริมาณลดลงจากชุดควบคุม ที่ระดับ pH ต่ำ พบความเป็นกรด ซึ่งความเป็นกรดมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยทั่วไปสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง จากการทดลองของ Huang et al. (2002) ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกลุ่ม *Synechocystis* sp. พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อเพิ่ม pH ให้มีสภาพเป็นกรด

จากการทดลองของ Raungsomboon et al. (2007) ที่ได้ทำการศึกษากการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Gloeocapsa* sp. ที่ระดับ pH 3.5, 4 และ 7 จากการวัดค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเมื่อถูกเลี้ยงในสภาพที่เป็นกรด นั่นคือ ที่ระดับ pH 3.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์มีการลดต่ำกว่าระดับ pH อื่นๆ จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระดับ pH ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แต่ที่ระดับ pH ต่ำก็ไม่ได้มีผลเสมอไป จากระดับ pH 4 ถึงแม้ในช่วงแรกของการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดต่ำกว่าระดับ pH 7 แต่ในวันสุดท้ายของการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์ของที่ระดับ pH 7 และ 4 กลับพบปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากที่ระดับ pH 4 ที่ปริมาณคลอโรฟิลล์มีการลดต่ำลงเพราะสาหร่ายหยุดการเจริญเติบโตเพื่อปรับสมดุลป้องกันตนเองเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรด

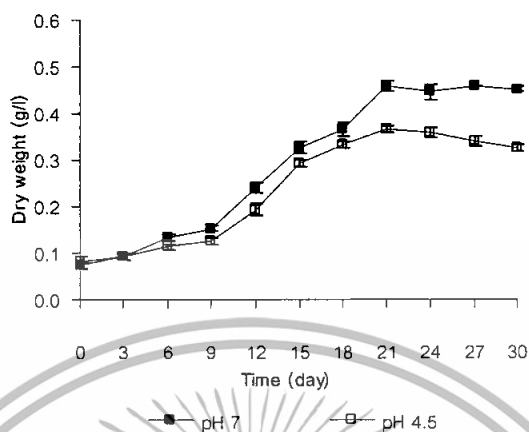
โดยที่ระดับ pH ต่ำ สาหร่ายจะมีการปรับตัว โดยจะมีกลไกในการป้องกันเซลล์คือจะมีการดึงพวกประจุบวกลดลง ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Ni}^{2+}$ ) และเพิ่มการดึงประจุลบ ( $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$ ) และยังพัฒนาให้ผนังเซลล์สามารถขับไล่พวกประจุบวกให้ออกนอกเซลล์ (Rai et al., 1996)

### 2.3 ผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักแห้งของ cyanobacteria

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักแห้งของ Cyanobacteria จากการศึกษาผลของ pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fisherella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc commune*, *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (4.5) *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (5.5) และ *Spirulina* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (6) ระหว่างการทดลองมีการปรับระดับ pH ให้เท่ากับวันเริ่มการทดลองทุกวัน โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า *Fisherella* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักแห้งในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณน้ำหนักแห้งจากกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 23) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักแห้ง  $0.33 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมี

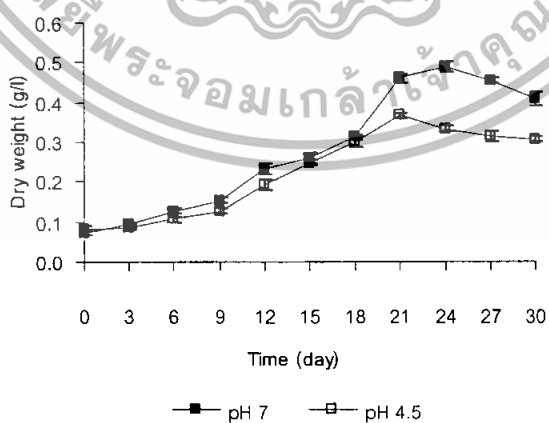
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.45 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลง 27.87 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 23 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

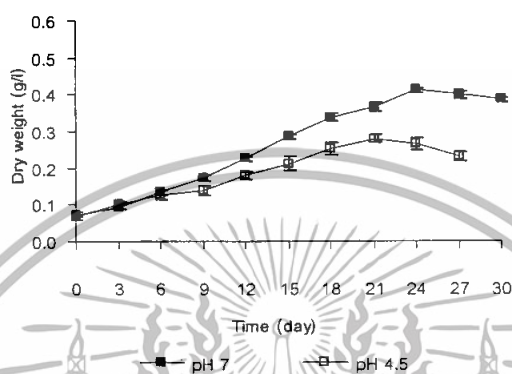
*Hapalosiphon* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักแห้งในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณน้ำหนักแห้งจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 24) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักแห้ง  $0.31 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.41 \pm 0.02$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 24.29 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 24 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

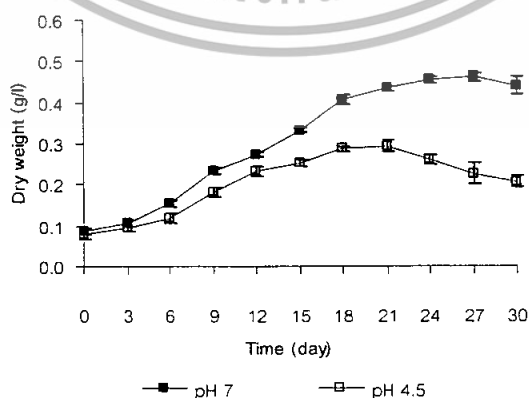
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Nostoc* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักรวมใน ระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของ ปริมาณน้ำหนักรวมจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 25) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักรวม  $0.23 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักรวมในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.39 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุมในวันสุดท้าย 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการตาย (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 25 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

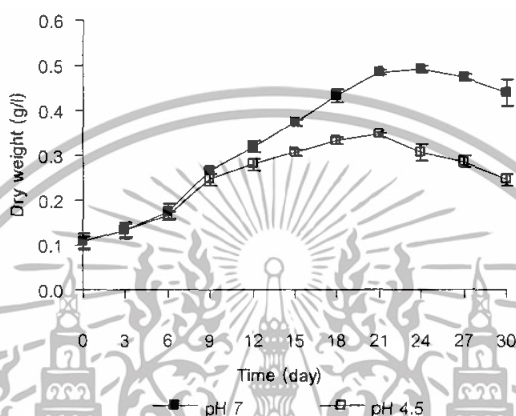
*Phormidium* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักรวมใน ระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของ ปริมาณน้ำหนักรวมจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 26) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักรวม  $0.21 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักรวมในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.44 \pm 0.02$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 52.50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 26 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

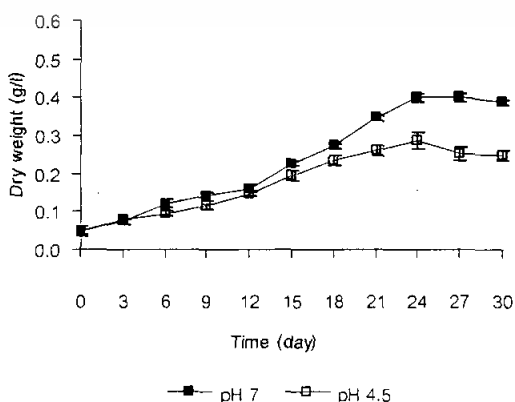
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Stigonema* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักแห้งใน ระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 9 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของ ปริมาณน้ำหนักแห้งจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 27) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักแห้ง  $0.25 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.44 \pm 0.03$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 43.81 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)



ภาพที่ 27 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

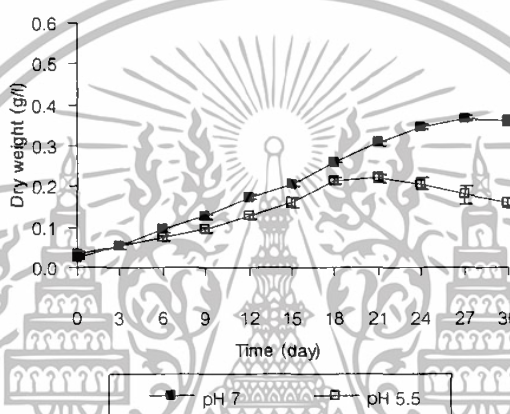
*Mastigocladopsis* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักแห้งในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณน้ำหนักแห้งจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 28) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณน้ำหนักแห้ง  $0.25 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.39 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 36.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

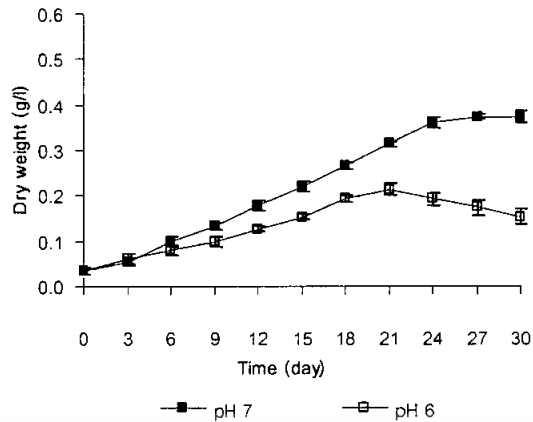
*Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 5.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักรวมในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 5.5 มีการลดลงของปริมาณน้ำหนักรวมจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 29) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 5.5 มีปริมาณน้ำหนักรวม  $0.16 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักรวมในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.36 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 11) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 55.37 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำหนักรวม (กรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Spirulina* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 6 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำหนักรวมในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 6 มีการลดลงของปริมาณน้ำหนักรวมจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 30) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 6 มีปริมาณน้ำหนักรวม  $0.15 \pm 0.02$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณน้ำหนักรวมในวันสุดท้ายของการทดลอง  $0.37 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 11) โดยลดลงจากกลุ่มควบคุม 58.52 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 30 ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

จากการทดลองของ Fang and Zhong (2002) ถึงผลของ pH ต่อปริมาณน้ำหนักแห้งของ *Ganoderma lucidum* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 35 กรัมต่อลิตร, เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร, สารสกัดยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1 กรัมต่อลิตร,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 กรัมต่อลิตร และวิตามินบี 1 0.05 กรัมต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 เป็นเวลา 15 วัน พบว่าตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 8 ทุกระดับ pH สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีค่าน้ำหนักแห้งมากที่สุดในวันที่ 8 ดังนี้  $13.80 \pm 0.01$ ,  $14.60 \pm 0.02$ ,  $15.50 \pm 0.30$ ,  $17.30 \pm 0.12$  และ  $16.00 \pm 0.37$  กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 ตามลำดับ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ที่ระดับ pH ต่ำ การเจริญเติบโตน้อย ปริมาณน้ำหนักแห้งน้อยตาม

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ

ปริมาณน้ำหนักรวม (g/l)						
ระดับ	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
pH						
7	0.45±0.01 <sup>a</sup>	0.41±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.01 <sup>a</sup>	0.44±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.03 <sup>a</sup>	0.39±0.01 <sup>a</sup>
4.5	0.33±0.01 <sup>b</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>	0.23±0.01 <sup>b</sup> (27)	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ระดับ pH 4.5

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรวมที่ลดลงจากตัวควบคุม (%)						
ระดับ	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
pH						
4.5	27.87	24.29	100	52.50	43.81	36.23

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp.

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณน้ำหนักรวม (g/l)	ระดับ pH	ปริมาณน้ำหนักรวม (g/l)
7	0.36±0.01 <sup>a</sup>	7	0.37±0.01 <sup>a</sup>
5.5	0.16±0.01 <sup>b</sup>	6	0.15±0.02 <sup>b</sup>

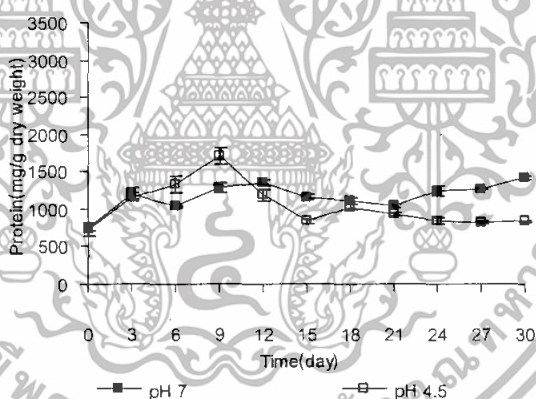
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากตัวควบคุม (pH 7) ของปริมาณน้ำหนักรวม (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.)

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณน้ำหนักรวมที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม (%)	ระดับ pH	ปริมาณน้ำหนักรวมที่ลดลงจากกลุ่มควบคุม (%)
5.5	55.37	6	58.52

## 2.4 ผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนของ cyanobacteria

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนของ Cyanobacteria จากการศึกษาค้นคว้าผลของ pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fisherella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc commune*, *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (4.5) *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (5.5) และ *Spirulina* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (6) ระหว่างการทดลองมีการปรับระดับ pH ให้เท่ากับวันเริ่มการทดลองทุกวัน โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 พบว่า *Fisherella* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนจากกลุ่มควบคุม (pH 7) โดยสูงสุดในวันที่ 9  $1706.31 \pm 101.91$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 31) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $836.73 \pm 10.71$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $1418.07 \pm 26.79$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)

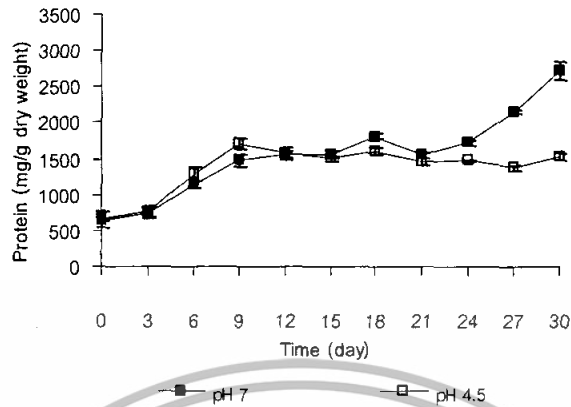


ภาพที่ 31 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Hapalosiphon* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนสูงจากกลุ่มควบคุม คือ pH 7 โดยสูงสุดในวันที่ 9  $1723.94 \pm 74.11$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้นอยู่ในระดับคงที่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับ pH 7 จนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 32) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $1547.23 \pm 50.71$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

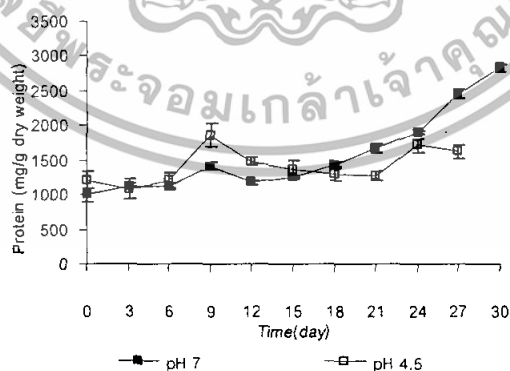
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2723.17 \pm 128.89$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 32 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

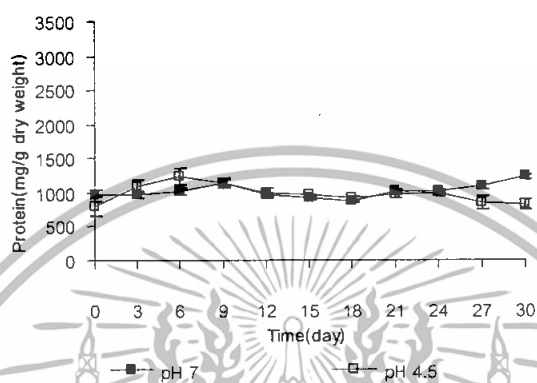
*Nostoc* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนสูงจากกลุ่มควบคุม คือ pH 7 โดยสูงสุดในวันที่ 9  $1860.05 \pm 172.30$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 33) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $1620.56 \pm 96.08$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2824.40 \pm 52.63$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 33 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

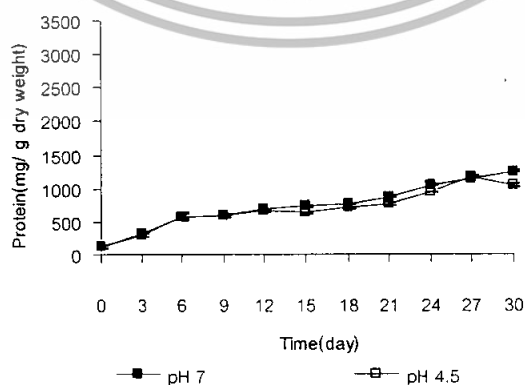
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Phormidium* sp. ที่ระดับ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนจากกลุ่มควบคุม คือ pH 7 โดยสูงสุดในวันที่ 6  $1240.85 \pm 116.50$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้น ก็มีการลดลงซึ่งอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 34) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $830.53 \pm 72.55$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $1238.36 \pm 36.96$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 34 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยง ภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Stigonema* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 27 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณโปรตีนจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 35) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $1048.68 \pm 24.22$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $1246.57 \pm 14.49$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)

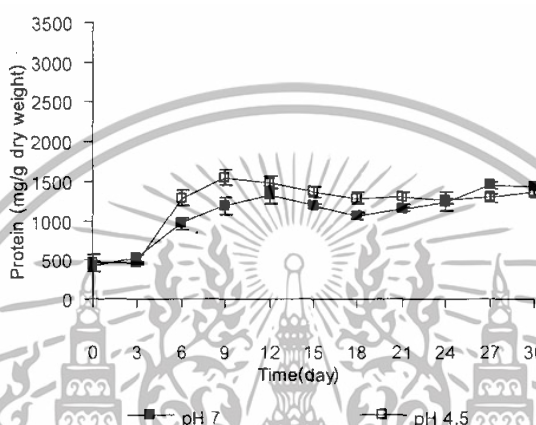


ภาพที่ 35 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยง

ภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

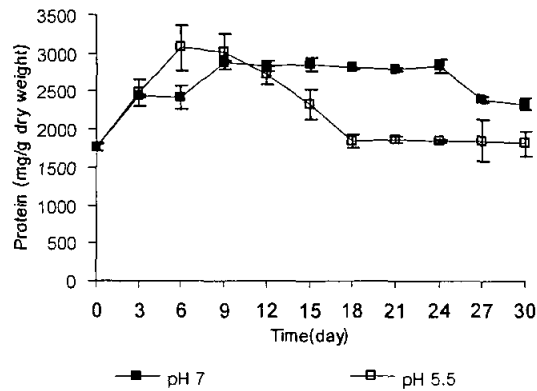
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Mastigocladopsis* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) สูงสุดในวันที่ 9  $1548.53 \pm 98.81$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย หลังจากนั้นมีการลดต่ำลง (ภาพที่ 36) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณโปรตีน  $1359.05 \pm 70.83$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $1436.49 \pm 40.33$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 13)



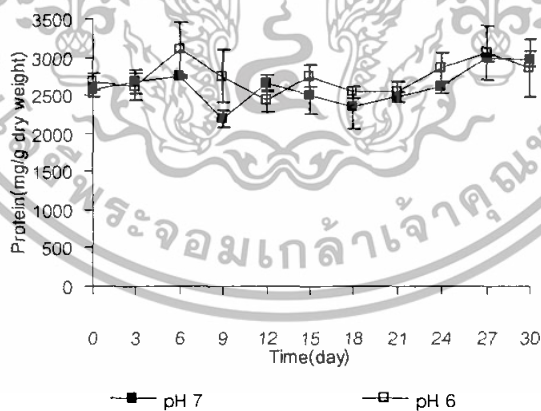
ภาพที่ 36 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 5.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 5.5 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 37) สูงสุดในวันที่ 6  $3074.96 \pm 297.17$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย หลังจากนั้นมีการลดต่ำลง โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 5.5 มีปริมาณโปรตีน  $1817.68 \pm 164.03$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2341.71 \pm 83.14$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 14)



ภาพที่ 37 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Oscillatoria sp.* ที่เลี้ยง ภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Spirulina sp.* ที่ระดับ pH 7 และ pH 6 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 6 มีการเพิ่มของปริมาณโปรตีนสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 38) สูงสุดในวันที่ 6  $3110.47 \pm 348.44$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย หลังจากนั้นมีการลดต่ำลง ในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 6 มีปริมาณโปรตีน  $2866.13 \pm 378.47$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณโปรตีนในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2977.68 \pm 103.91$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 14)



ภาพที่ 38 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Spirulina sp.* ที่เลี้ยง ภายใต้ ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

ที่สภาวะความเครียดสาหร่ายสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้สูงเนื่องมาจากกลไกการทำงานของโปรตีนที่ทำให้เซลล์ไม่ถูกทำลายโดยโปรตีนที่สร้างจะมีโครงสร้างที่ต่างจาก pH ปกติเพื่อให้ทนต่อสภาวะที่เป็นกรด (Fowden, 1962)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ

ปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight)						
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
7	1418.07±26.79 <sup>a</sup>	2723.17±128.89 <sup>a</sup>	2824.40±52.63 <sup>a</sup>	1238.36±36.96 <sup>a</sup>	1246.57±0.14.49 <sup>a</sup>	1436.49±40.33 <sup>a</sup>
4.5	836.73±10.71 <sup>b</sup>	1547.23±50.71 <sup>b</sup>	1620.56±96.08 <sup>b</sup> (27)	830.53±72.55 <sup>b</sup>	1048.68±24.22 <sup>b</sup>	1359.05±70.83 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

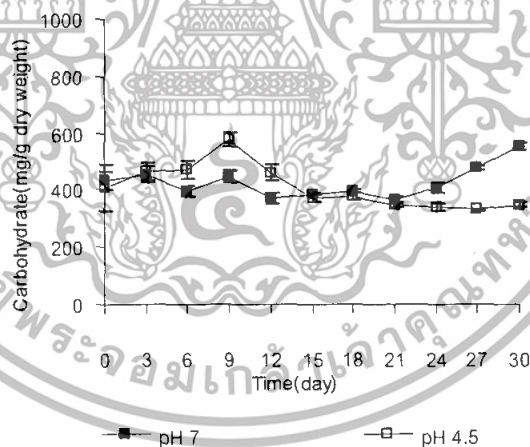
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.)

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight)	ระดับ pH	ปริมาณโปรตีน (mg/g dry weight)
7	2341.71±83.14 <sup>a</sup>	7	2977.68±103.91 <sup>a</sup>
5.5	1817.68±164.03 <sup>b</sup>	6	2866.13±378.47 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

## 2.5 ผลของ pH ต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเซลล์สาหร่าย cyanobacteria

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ Cyanobacteria จากการศึกษาผลของ pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย สาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fisherella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc commune*, *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (4.5) *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (5.5) และ *Spirulina* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (6) ระหว่างการทดลองมีการปรับระดับ pH ให้เท่ากับวันเริ่มการทดลองทุกวัน โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า *Fisherella* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) โดยสูงสุดในวันที่  $9\ 577.51 \pm 23.80$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 39) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $348.72 \pm 12.17$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $554.04 \pm 14.26$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)

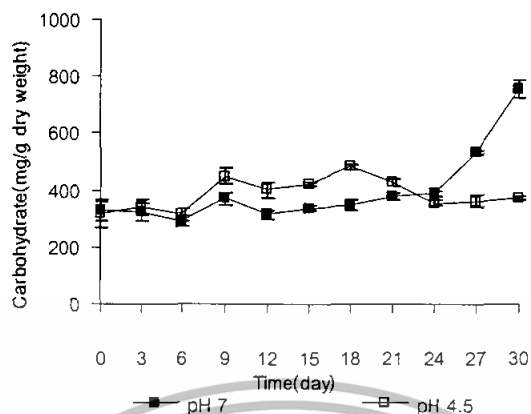


ภาพที่ 39 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

*Hapalosiphon* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) โดยสูงสุดในวันที่  $9\ 449.98 \pm 29.31$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย จากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 40) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $373.22 \pm 4.86$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของ

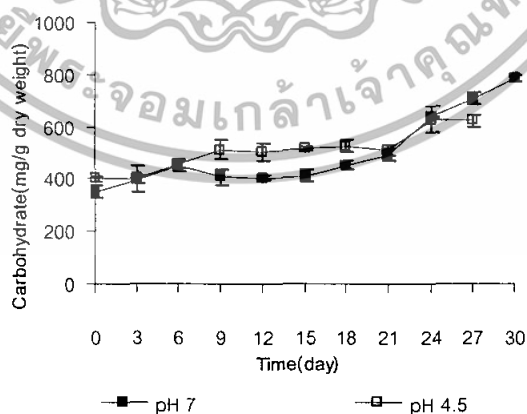
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $757.67 \pm 28.33$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 40 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

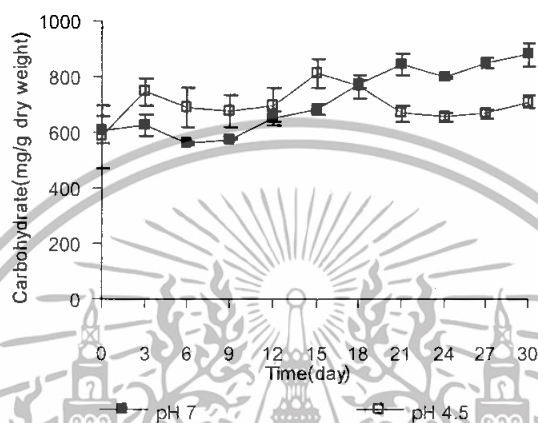
*Nostoc* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) จนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นก็มีการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม และลดลงในวันสุดท้าย (ภาพที่ 41) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $620.85 \pm 24.60$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $783.47 \pm 14.88$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 41 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

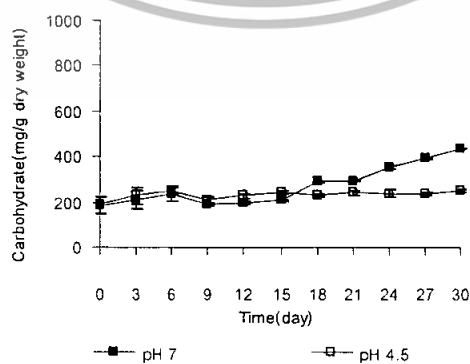
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Phormidium* sp. ที่ระดับ pH 4.5 มีการเพิ่มของปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจากกลุ่มควบคุมตั้งแต่วันที่ 3 - 15 โดยสูงสุดในวันที่ 15  $815.13 \pm 50.72$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย หลังจากนั้นก็มีการลดลง (ภาพที่ 42) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $712.42 \pm 19.88$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $881.54 \pm 42.16$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 42 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

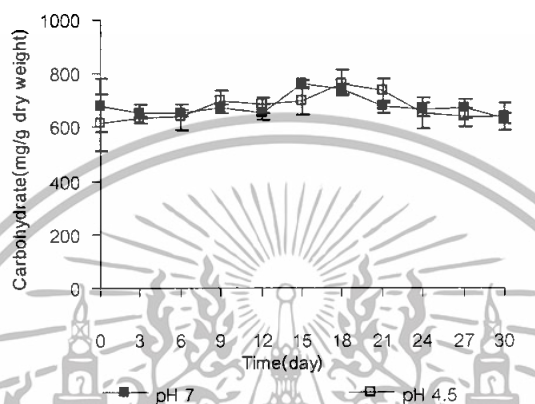
*Stigonema* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 จากนั้นก็มีการลดลงจากกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 43) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $251.51 \pm 8.11$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $435.59 \pm 0.18$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 43 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

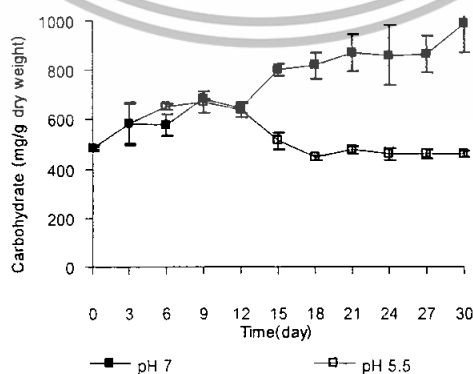
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Mastigocladopsis* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 44) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $640.98 \pm 50.87$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $632.55 \pm 18.66$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 15)



ภาพที่ 44 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

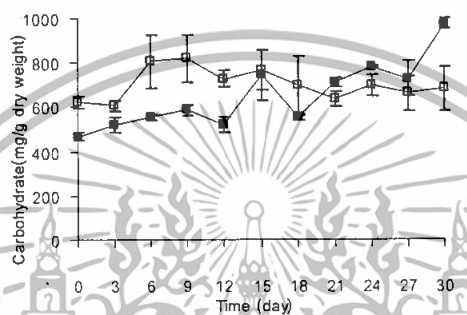
*Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 5.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 5.5 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 45) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 5.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $458.02 \pm 13.18$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $985.57 \pm 115.36$  มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 45 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Spirulina* sp. ที่ระดับ pH 6 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 สูงสุดในวันที่ 9  $820.38 \pm 104.95$  มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย หลังจากนั้นที่ระดับ pH 6 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 46) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 6 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $682.04 \pm 97.38$  มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $974.67 \pm 25.48$  มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (ตารางที่ 16)



ภาพที่ 46 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

จากการทดลองของ Fang and Zhong (2002) ถึงผลของ pH ต่อปริมาณ EPS ของ *Ganoderma lucidum* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 35 กรัมต่อลิตร, เปปโตน 5 กรัมต่อลิตร, สารสกัดยีสต์ 5 กรัมต่อลิตร,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1 กรัมต่อลิตร,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.5 กรัมต่อลิตร และวิตามินบี 1 0.05 กรัมต่อลิตร ที่ระดับ pH 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 และ 7.0 เป็นเวลา 15 วัน พบว่าตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 8 ทุกระดับ pH มีการเพิ่มปริมาณของ EPS ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่หลังจากวันที่ 8 ที่ระดับ pH 3.5 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ EPS เนื่องจากสาหร่ายมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมด้วยการสร้างกลไกป้องกันเซลล์

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ชนิดต่างๆ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight)						
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
7	554.04±14.26 <sup>a</sup>	757.67±28.33 <sup>a</sup>	783.47±14.88 <sup>a</sup>	881.54±42.16 <sup>a</sup>	435.59±0.18 <sup>a</sup>	652.55±18.66 <sup>a</sup>
4.5	348.72±12.12 <sup>b</sup>	373.22±4.86 <sup>b</sup>	620.85±24.60 <sup>b</sup> (27)	712.42±19.88 <sup>b</sup>	251.51±8.11 <sup>b</sup>	640.98±50.87 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

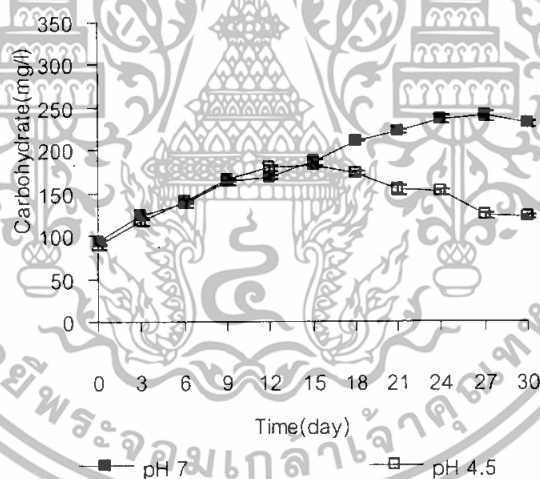
ตารางที่ 16 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp.

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight)	ระดับ pH	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (mg/g dry weight)
7	985.57±115.36 <sup>a</sup>	7	974.67±25.48 <sup>a</sup>
5.5	458.02±13.18 <sup>b</sup>	6	682.04±97.38 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

## 2.6 ผลของ pH ต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยงสาหร่าย cyanobacteria

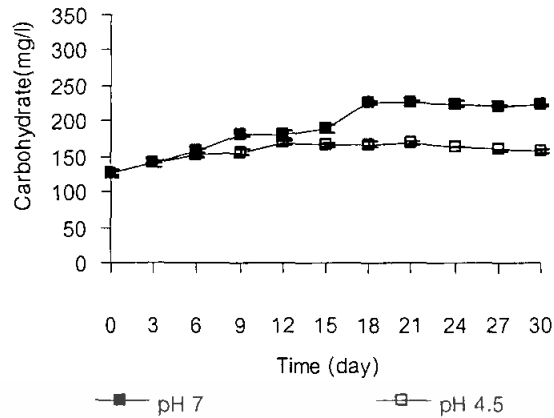
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยในการเลี้ยงที่สำคัญที่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ Cyanobacteria จากการศึกษาผลของ pH ที่ระดับต่างๆกันในสาหร่าย สาหร่าย Cyanobacteria ชนิด *Fisherella* sp., *Hapalosiphon* sp., *Nostoc commune*, *Phormidium* sp., *Stigonema* sp., *Mastigocladopsis* sp. ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (4.5) *Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (5.5) และ *Spirulina* sp. ที่ระดับ pH ควบคุม (pH 7) และระดับ pH ต่ำ (6) ระหว่างการทดลองมีการปรับระดับ pH ให้เท่ากับวันเริ่มการทดลองทุกวัน โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า *Fisherella* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 47) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $121.78 \pm 2.54$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $229.95 \pm 2.54$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 47 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Fisherella* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

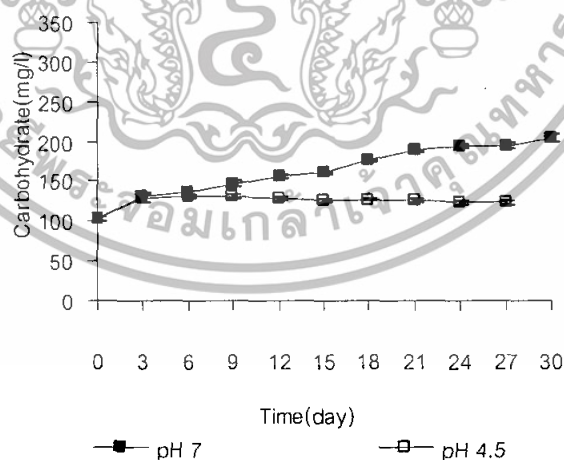
*Hapalosiphon* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 15 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 48) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $157.69 \pm 2.02$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $223.17 \pm 1.81$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 48 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

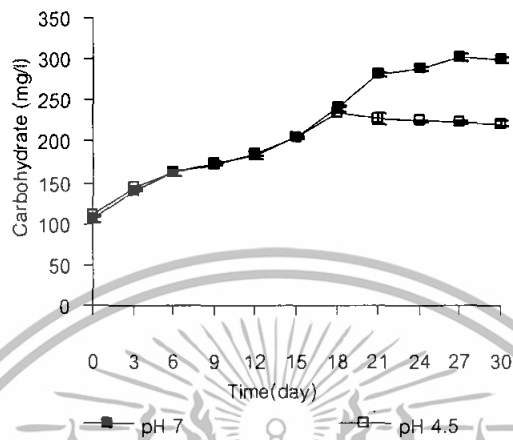
*Nostoc* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 49) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $123.79 \pm 3.26$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $204.54 \pm 4.46$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 49 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Nostoc* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

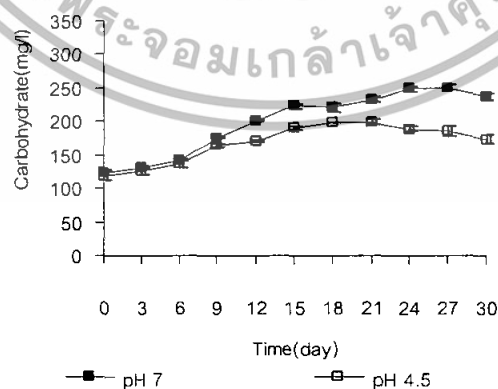
*Phormidium* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 4.5 มีการลดลงของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 50) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $222.33 \pm 2.62$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2.99.28 \pm 3.16$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 50 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

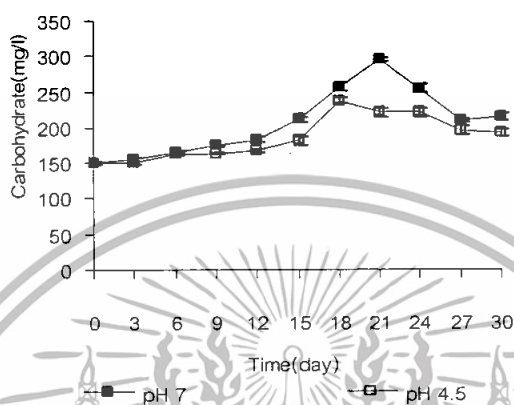
*Stigonema* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 9 จากนั้นก็มีการลดลงจากกลุ่มควบคุม (ภาพที่ 51) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $173.06 \pm 6.60$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $2.36.48 \pm 5.35$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 51 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Stigonema* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

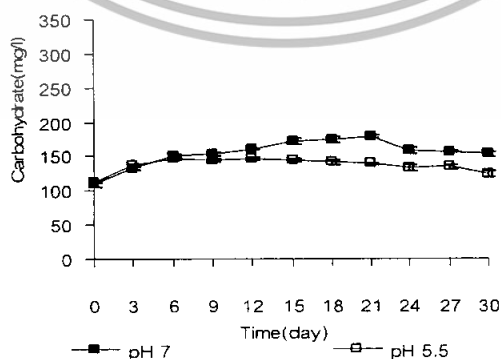
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Mastigocladopsis* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 4.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 18 หลังจากนั้นมีการลดลง (ภาพที่ 52) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 4.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $192.20 \pm 3.82$  กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $214.70 \pm 4.55$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 52 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

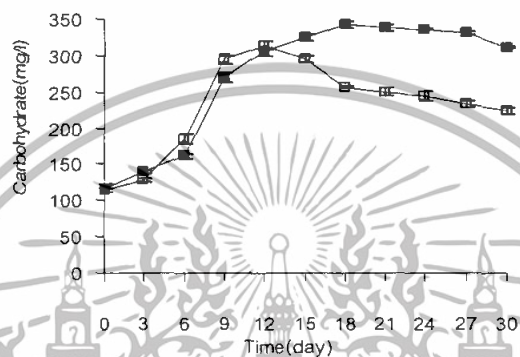
*Osillatoria* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 5.5 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 6 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 5.5 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 53) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 5.5 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $123.95 \pm 4.19$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $152.27 \pm 3.68$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 18)



ภาพที่ 53 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Osillatoria* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Spirulina* sp. ที่ระดับ pH 7 และ pH 6 มีแนวโน้มการเพิ่มและลดของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในระดับที่ใกล้เคียงกัน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นที่ระดับ pH 6 มีการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากกลุ่มควบคุม (pH 7) (ภาพที่ 54) โดยในวันสุดท้ายของการทดลองที่ระดับ pH 6 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต  $224.51 \pm 3.84$  กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับ pH 7 ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในวันสุดท้ายของการทดลอง  $312.06 \pm 1.36$  กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 18)



ภาพที่ 54 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (กรัมต่อลิตร) ของ *Spirulina* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระดับ pH ที่ต่างกัน (Mean  $\pm$  S.E.)

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH 7 และ 4.5 ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ชนิดต่างๆ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l)						
ระดับ pH	<i>Fisherella</i> sp.	<i>Hapalosiphon</i> sp.	<i>Nostoc</i> sp.	<i>Phormedium</i> sp.	<i>Stigonema</i> sp.	<i>Mastigocladopsis</i> sp.
7	554.04±14.26 <sup>a</sup>	757.67±28.33 <sup>a</sup>	783.47±14.88 <sup>a</sup>	881.54±42.16 <sup>a</sup>	435.59±0.18 <sup>a</sup>	652.55±18.66 <sup>a</sup>
4.5	348.72±12.12 <sup>b</sup>	373.22±4.86 <sup>b</sup>	620.85±24.60 <sup>b</sup> (27)	712.42±19.88 <sup>b</sup>	251.51±8.11 <sup>b</sup>	640.98±50.87 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l) ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 30) ที่ระดับ pH ต่างกันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. (mean±S.E.)

<i>Oscillatoria</i> sp.		<i>Spirulina</i> sp.	
ระดับ pH	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l)	ระดับ pH	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำเลี้ยง (g/l)
7	152.27±3.68 <sup>a</sup>	7	312.06±1.36 <sup>a</sup>
5.5	129.95±4.19 <sup>b</sup>	6	224.51±3.84 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแถวแนวดิ่งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Mean ± S.E.)

## สรุป

จากการศึกษาผลของ pH ต่อค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด พบว่าจะส่งผลต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสงโดยที่ระดับ pH 3 มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดการตาย และพบว่า *Hapalosiphon* sp. ทนต่อความเครียดที่เป็นกรดได้สูงที่สุด ส่วนผลของการเจริญเติบโตพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณน้ำหนักรากจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันซึ่งพบว่าสาหร่ายที่ทนต่อการเลี้ยงที่สภาวะ pH ต่ำ เจริญได้ดีที่สุดคือ *Hapalosiphon* sp ส่วนผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต พบว่าจะเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเลี้ยงที่มีสภาพเป็นกรด เนื่องจากการสร้างกลไกในการป้องกันตัวเนื่องจากสภาวะเครียดนั่นเอง และลดลงในวันสุดท้าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง. <http://www.fisheries.go.th/cs/trat/Bule/m.htm>

ไม่ปรากฏผู้แต่ง. การสังเคราะห์แสง. [http://www.eqplusonline.com/webboard\\_detail.php](http://www.eqplusonline.com/webboard_detail.php)

ยุวดี พิธีพรพิศาล. 2549. สหรัยวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 546 น.

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. ความเป็นกรด-ด่าง (pH). <http://web.ku.ac.th/nk40/nk/data/11/fact2.htm>

หนึ่ง เตียอำรุง. สหรัยสีเขียวแกมน้ำเงิน. <http://vishnu.sut.ac.th/csu/doc/Cyanobacteria.doc>

เอกพงษ์ มุลิกะเจริญ. อิทธิพลของค่า pH ของอาหารกับระดับการให้ความร้อนในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์. <http://www.clinictech.most.go.th>

Campbell, D., V. Hurry, A.K. Clarke, P. Gustafsson, and G. Oquist. 1998. Chlorophyll fluorescence analysis of cyanobacterial photosynthesis and acclimation. *Microbiol. Mol. Bio. Res.* 62 : 667-683.

Fang, Q.-H., and J.-J. Zhong. 2002. Effect of initial pH on production of ganoderic acid and polysaccharide by submerged fermentation of *Ganoderma lucidium*. *Process Biochemistry* 37 : 769-774.

Fowden, L. 1962. Amino acids and protein in Lewin R.A. (ed.), physiology and biochemistry of algae. Lond. Academic Press.

Lu, C.M., C.W. Chau., J.H. Zhang. 2000. Acute toxicity of excess mercury on the photosynthetic performance of cyanobacterium, *S. platensis*—assessment by chlorophyll fluorescence analysis. *CHEMOSPHERE* 41: 191-196.

Mazel, D., Houmard, J. Castets, A. M. and Taodeau de Marsac, N. 1990. Highly repetitive DNA sequences in cyanobacterial genomes. *J. Bacteriol.* 172:2755-2761.

Papageorgiou, G., and Govindjee. 1971. pH control of the Chlorophyll a fluorescence in algae. *Biochim. Biophys. Acta.* 234 : 429-432.

Paresys, G., C. Rigart, B. Rousseau, A.W.M. Wong, F. Fan, J.P. Barbier, and J. Lavaud. 2005. Quantitative and qualitative evaluation of phytoplankton communities by trichromatic chlorophyll fluorescence excitation with special focus on cyanobacteria. *Water Research* 39 : 911-921.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rai, L.C., P.K. Rai, and N. Mallick. 1996. Regulation of heavy metal toxicity in acid tolerant *Chlorella*: physiological and biochemical approaches. Environ.Exp. Bot. 36 : 99-109.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้