

ใบรับรองปัญหาพิเศษ  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง ผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวก  
แกมน้ำเงินสกุลออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria) ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ  
Effect of pH and Salinity on Water Quality and Growth of Blue Green Algae  
(Oscillatoria) Cultured in Laboratory

VII, 63 เลขที่: 1/มร

ชื่อนักศึกษา นายอิพงษ์ จันทร์เพชร

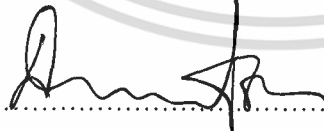
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ)

ภาควิชารับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูชาติ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ ๑๕ เดือน พ.ค. พ.ศ. ๒๕๕๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปัญหาพิเศษ

## เรื่อง

ผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสี  
เขียวแกมน้ำเงินสกุลออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria) ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ  
Effect of pH and Salinity on Water Quality and Growth of Blue Green Algae (Oscillatoria)  
Cultured in Laboratory



T099446

โดย

นายอภินันท์ จันทร์เพชร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

พ.ศ. 2546

ร.พ.

๐146 ๗

2546

เลขที่.....

เลขทะเบียน.....

วัน เดือน ปี.....

99446

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสี  
เขียวแกมน้ำเงินสกุลออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria) ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ  
Effect of pH and Salinity on Growth of Blue Green Algae (Oscillatoria) Cultured in  
Laboratory



ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร 10520  
พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

### เรื่อง

ผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลออกซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria*) ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ

Effect of pH and Salinity on Water Quality and Growth of Blue Green Algae (*Oscillatoria*) Cultured in Laboratory

การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) การทดลองที่ 1 แบ่งออกเป็น 9 ทริทเมนต์ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5, 12.0, อาหารเลี้ยงสาหร่าย และชุดควบคุมที่ไม่ปรับค่า แต่ละทริทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ระยะเวลาทดลอง 8 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำในการทดลองได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ความนำไฟฟ้า, ความเป็นด่าง, ความกระด้าง, ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่อุณหภูมิ, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน, ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ความเป็นกรด-ด่าง 9.0 จะมีจำนวนเส้นสายมากที่สุดเฉลี่ย  $7.7 \pm 0.1 ( \times 10^5$  ต่อมิลลิลิตร) และในชุดควบคุมจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดเฉลี่ย  $7.1 \pm 1.9$  มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.5 หรือมากกว่า 10.5 จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความเค็มโดยแบ่งออกเป็น 7 ทริทเมนต์ได้แก่ ความเค็ม 4ppt, 8ppt, 12ppt, 16ppt, 20ppt, อาหารเลี้ยงสาหร่าย และชุดควบคุม(0ppt) แต่ละทริทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ระยะเวลาทดลอง 9 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำทางการทดลองได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, ความนำไฟฟ้า, ความกระด้าง, ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) แต่อุณหภูมิ, ความเป็นด่าง, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน, ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ความเค็มที่ 4ppt จะมีจำนวนเส้นสายมากที่สุดเฉลี่ย  $3.7 \pm 0.4 ( \times 10^5$  ต่อมิลลิลิตร) และในชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดเฉลี่ย  $4.5 \pm 0.3$  มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจซึ่งเป็นที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ จนสำเร็จการทดลอง และช่วยอำนวยความสะดวกอุปกรณ์ในการทดลองให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่านที่ให้ความรู้และคอยอบรมสั่งสอน

ขอบคุณคุณบุปผา จงพัฒน์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่านสำหรับคำแนะนำ คอยดูแลและให้ความช่วยเหลือในอุปกรณ์การทดลอง

ขอบคุณนายนิเวศ รัตนคำภา ซึ่งเป็นเพื่อนร่วมทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ให้ลู่ลวง และเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพ่อแม่ พี่ ที่ให้กำลังใจและความอบอุ่นในครอบครัวที่มีให้แก่ข้าพเจ้า และสนับสนุนทางการเงินมาด้วยดีตลอด

นายอิทธิพงศ์ จันทร์เพชร

เมษายน พ.ศ. 2547

# สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	V
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	14
สรุป	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp.	18
2	อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	19
3	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	20
4	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	21
5	ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	22
6	ความเป็นต่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	25
7	ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	26
8	ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	28
9	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	29
10	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	32
11	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	33
12	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	34
13	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	37
14	จำนวน trichome ( $\times 10^4$ ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	38

30	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ ความเค็มต่างกัน	57
----	--	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของ <i>Oscillatoria</i> sp.	2
2	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp.	14
3	อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	15
4	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	15
5	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	16
6	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	16
7	ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	17
8	ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	17
9	ความเป็นด่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	23
10	ความเป็นด่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	23
11	ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	24
12	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	27
13	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	27
14	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	30
15	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	31

16	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	31
17	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	35
18	จำนวน trichome ( $\times 10^4$ ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	36
19	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน	36
20	ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	40
21	อุณหภูมิห้อง(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	41
22	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	41
23	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	42
24	ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	42
25	ความเป็นด่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	46
26	ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	47
27	ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	47
28	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	49
29	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	50
30	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	50
31	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง <i>Oscillatoria</i> sp. ที่ความเค็มต่างกัน	53

- 32 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่  
ความเค็มต่างกัน 54
- 33 จำนวน trichome ( $\times 10^4$  ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความ  
เค็มต่างกัน 55
- 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ(มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria*  
sp. ที่ความเค็มต่างกัน 55

ภาพ  
ผนวกที่

- 1 ลักษณะของ *Oscillatoria* sp. ระหว่างการทดลอง 63



## คำนำ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญมากในทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะกุ้งกุลาดำที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายเนื่องจากราคาดี กำไรสูง แต่ในการเลี้ยงก็ยังคงเกิดปัญหาต่างๆ ที่ผู้เลี้ยงต้องแก้ไข โดยเฉพาะปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ถ้าคุณภาพน้ำไม่ดี กุ้งก็จะเครียด กินอาหารน้อย โตช้า และเชื้อโรคต่างๆก็จะเข้าทำลายกุ้ง ทำให้มีการตายของกุ้งเป็นจำนวนมาก

การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำในบ่อ สาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อน้ำมีสารอาหารมาก เช่นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งมีด้วยกันหลายชนิด ที่พบบ่อยครั้งได้แก่สาหร่าย *Oscillatoria* sp. และสามารถสร้างสารพิษทำให้น้ำในบ่อเปลี่ยนสีและบางครั้งอาจก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น เมื่อสาหร่ายตายจะก่อให้เกิดการเน่าเสียของน้ำ ทำให้น้ำขาดออกซิเจน และสารพิษที่สร้างจากสาหร่ายก็จะถูกปล่อยออกมา ทำให้เกิดการตายของกุ้ง

จากปัญหาดังกล่าวมีการคิดค้นวิธีที่จะกำจัดสาหร่ายชนิดนี้ โดยผู้เลี้ยงส่วนใหญ่จะใช้สารเคมี อย่างเช่น ฟอมาลิน คลอรีน ในการยับยั้งการเจริญ แต่การใช้สารเคมีอาจมีผลต่อสัตว์น้ำในระยะยาว ซึ่งถ้าใช้บ่อยๆอาจไปสะสมในร่างกายสัตว์น้ำและส่งผลถึงผู้บริโภค ดังนั้นจึงศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำ ความเป็นกรด-ด่างและความเค็มเพื่อเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายแทนการใช้สารเคมี และศึกษาคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*
2. ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างและความเค็มต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*

## การตรวจเอกสาร

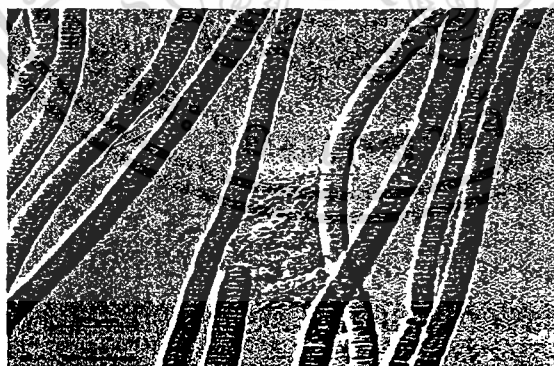
### สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุลออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria)

*Oscillatoria* sp. จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ใน

Kingdom	Monera
Division	Cyanophyta
Class	Cyanophyceae
Order	Nostocales
Genus	Oscillatoria

สาหร่าย *Oscillatoria* sp. ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ในไซโตพลาสซึมมีคลอโรฟิลล์และไฟโคบิลินสังเคราะห์แสงได้ สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ลักษณะเป็นเส้นสายเดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นเส้นสายที่หนาแน่น เส้นสายไม่แตกแขนง สายรูปทรงกระบอก ส่วนใหญ่ได้อาหารโดยการดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเข้ามาในเซลล์ การสืบพันธุ์ส่วนใหญ่ไม่อาศัยเพศ เส้นสายจะเกิดการหักเป็นท่อน (fragmentation) แบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 เซลล์ สาหร่ายสกุลนี้ไม่มี sheath หุ้มจึงเรียกเส้นสายนี้ว่า trichome สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำจากกระบวนการสังเคราะห์แสง

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจัดเป็น "ไซยาโนแบคทีเรีย" (cyanobacteria) เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติบางอย่างคล้ายแบคทีเรียและบางอย่างคล้ายพืช ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยเฉพาะในน้ำนิ่งจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีความหนาแน่นมาก ที่เรียกว่า "บลูม" (bloom) และภายในสภาพแวดล้อมบางอย่าง จะลอยตัวขึ้นสู่น้ำ มองเห็นพื้นน้ำเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน เรียกว่า "สกัม" (scum) (ลัดดา, 2539)



ภาพที่ 1 ลักษณะของ *Oscillatoria* sp.

ที่มา : Van den Hoek et al. (1995)

### ผลดีของออสซิลลาทอเรีย

*Oscillatoria* sp. สามารถเป็นแหล่งอาหารช่วงแรกของกุ้งระยะ postlarvae และ juvenile (New and Rabanal ,1985) นอกจากนี้สาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ยังสามารถใช้เป็นอาหารของไรแดง (Langis et al. ,1988) ปลานิล (Shrestha and Knud-Hansen ,1994) และปู (Ramesh et al ,1999) สาหร่ายจะมีสารอาหาร เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัว สเตอรอยด์ กรดอะมิโน วิตามิน และคาโรทีนอยด์ (Thomson et al. ,1999) และจากการวิเคราะห์ความจุรณะของกุ้ง *Farfantepenaeus paulensis* พบว่ามีส่วนประกอบของ biofilm อยู่ ได้แก่ ไดอะตอม และแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. และ *Spirulina* sp. ซึ่งชี้ว่ากุ้งสามารถกินสาหร่ายเป็นอาหารได้

### ผลเสียของออสซิลลาทอเรีย

สาหร่ายขนแมวหรือออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) เมื่อมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และหนาแน่นขึ้นเรื่อยๆ จะมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากส่งผลให้พีเอชสูงขึ้นเรื่อยๆ จนส่งผลเสียต่อกุ้งในบ่อได้ โดยปกติออสซิลลาทอเรียจะใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโต แต่เวลาออสซิลลาทอเรียตายเป็นปริมาณมาก (drop) ก็ส่งผลให้ไนโตรเจนในบ่อเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแก๊สแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ นอกจากนี้ซากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถเข้าไปอุดตันที่เหงือกกุ้งและการผลิตสารพิษออกมาทำให้เนื้อกุ้งมีกลิ่นโคลนได้ (เบญจมินทร์, 2546)

สาหร่ายชนิดนี้บางสายพันธุ์สามารถผลิตสารเคมี (Cyanobacteria toxins) ที่เป็นพิษต่อระบบประสาทและตับ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุการตายของปลาน้ำจืดจำนวนมากในฟาร์ม (Reyssacc and Pletikotic ,1990) และสามารถทำให้เกิดการลุกลามของโรค ซึ่งเป็นอันตรายกับคนและสัตว์ Smith (1996) รายงานการบวมของแพลงก์ตอนพืช พร้อมกับการตายของกุ้งใน 4 ฟาร์มช่วงการเลี้ยง 2-3 เดือนแรก กุ้งจะเริ่มแสดงอาการในช่วงขนาด 15-25 กรัม ในระยะเริ่มต้น กุ้งจะเซื่องซึม การกินอาหารจะลดลง เจริญเติบโตช้า และลอกคราบยาก ถัดมาจะพบกุ้งลอยตายริมบ่อ ในระยะนี้จะเกิดการบวมของ *Oscillatoria* sp. ทั้งกลุ่มที่อยู่ใต้พื้นน้ำ กลุ่มที่ลอยหรือแขวนลอยเป็นเส้นสาย

จากการทดสอบความเป็นพิษกับกุ้ง โดย Smith ได้ทดลองฉีดกุ้ง *Penaeus monodon* ด้วยน้ำในบ่อที่เกิดการบวมที่ต้มแล้ว ทำให้กุ้งตาย 100% ภายใน 5-10 นาที ในขณะที่การฉีดด้วยน้ำจากบ่อที่ไม่มีอาการบวมของ *Oscillatoria* sp. กุ้งจะไม่ตาย และจากการนำอาหารที่เมียบมาใส่ในน้ำจากการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการจะเกิดการตาย 100% ภายใน 24 ชั่วโมง

สารพิษที่สร้างจากไซยาโนแบคทีเรียจะถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเมื่อเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียแก่หรือตาย และเกิดการรั่วของผนังเซลล์ การตายของสัตว์เกิดจากการได้รับพิษอย่างต่อเนื่องจากการ

ย่อยของเซลล์ที่กินเข้าไป สารพิษจะออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท (neurotoxin) สัตว์ที่ได้รับพิษจะมีอาการกล้ามเนื้อเกร็งหดตัว เป็นอัมพาต เมื่อเกิดกับกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจทำให้เกิดอาการชัก กระตุกเนื่องจากขาดออกซิเจนไปเลี้ยงสมองและเกิดการตายเนื่องจากการหายใจล้มเหลวในที่สุด สารพิษจะออกฤทธิ์ต่อตับ (hepatotoxin) โดยจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีนฟอสฟาเทส ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมเมตาบอลิซึมต่างๆ เช่น เมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การแบ่งเซลล์ และการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ อาการเลือดจะออกในตับ และการช็อกเนื่องจากขาดเลือดไปหล่อเลี้ยง การตายจะเกิดขึ้นหลังจากได้รับพิษ 2-3 ชั่วโมงถึง 2-3 วัน (รุ่งนภา, 2543)

### คุณภาพน้ำต่อการเจริญเติบโตของออสซิลลาทอเรีย

#### ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ความเป็นกรด-ด่างเป็นค่าที่บอกให้เราทราบว่าน้ำหรือสารละลายนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง ระดับของ pH มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับสัตว์น้ำดังนี้

ค่า pH 4 หรือต่ำกว่า	เป็นจุดอันตรายทำให้ปลาตายได้
ค่า pH ระหว่าง 4.0-6.0	ปลาเจริญเติบโตช้า ระบบการสืบพันธุ์หยุดชะงัก
ค่า pH ระหว่าง 6.5-9.0	เป็นระดับเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
ค่า pH ระหว่าง 9.0-11.0	ไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้ผลผลิตต่ำ
ค่า pH 11.0 หรือมากกว่า	เป็นพิษต่อปลา

pH มีผลต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการใช้สารอาหารของสาหร่าย ปริมาณของสารอนินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำซึ่งสาหร่ายนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH โดยทั่วไปสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 7.5-10 (Peterson et al., 1984)

ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงจะยับยั้งการตรึงคาร์บอนในการสังเคราะห์แสงของไซยาโนแบคทีเรีย (Stewart and Pearson, 1970) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย องค์ประกอบทางเคมีภายในของไซยาโนแบคทีเรียจะชอบสภาวะความเป็นต่าง (Gerloff et al., 1952) ซึ่งจะไม่พบไซยาโนแบคทีเรียแหล่งที่อยู่ในธรรมชาติที่ pH ต่ำกว่า 5 (Brock, 1973) pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 7.5-9.0 (Kratz and Myers, 1955) แต่

Konopka (1981) ได้ทดลองเลี้ยง *Oscillatoria rubescens* ที่ pH ต่างกัน พบว่าจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ pH ระหว่าง 6.5-8.5 ถ้า pH ต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง 50%

### ความเค็ม (salinity)

ความเค็มของน้ำ หมายถึง ปริมาณของของแข็งหรือเกลือแร่ต่างๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ แบ่งประเภทน้ำตามระดับความเค็มดังนี้

น้ำจืด (Fresh water) มีความเค็มระหว่าง 0-0.5 ppt

น้ำกร่อย (Brackish water) มีความเค็มระหว่าง 0.5-30 ppt

น้ำเค็ม (Sea water) มีความเค็มมากกว่า 30 ppt ขึ้นไป

ความเค็มของน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบการควบคุมปริมาณน้ำในร่างกาย ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของแรงดัน osmotic ระหว่างภายในตัวสัตว์น้ำและน้ำภายนอก สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณน้ำกร่อยที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มมาก จะมีความสามารถในการปรับตัวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดัน osmotic ได้ดี (ประเทือง, 2534)

พรเลิศ (1996) รายงานว่าการเลี้ยงกุ้งในบ่อที่ใช้ความเค็มต่ำ (<10 ppt) จะเกิดการบูมของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ซึ่งสาหร่ายดังกล่าวจะกำจัดได้ยากมาก การปล่อยปลาชนิดที่แปลงเพศลงเลี้ยงในบ่อจะเป็นการลดปริมาณของสาหร่ายได้บ้าง อาจปล่อยในอัตรา 1-2 ตัวต่อพื้นที่ 5 ตารางเมตร

### อุณหภูมิ (temperature)

มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมี การหายใจและเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโต จะมีผลต่อขนาดของเซลล์แพลงก์ตอน โดยควบคุมอัตราปฏิกิริยาของเอนไซม์ภายในเซลล์ นอกจากนั้น อุณหภูมิจะกำหนดการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนในธรรมชาติ แพลงก์ตอนพืชจำพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 35-45 °C (Alam et al., 2001)

จากการสังเกตในธรรมชาติ *Oscillatoria* sp. จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Ruttner, 1963) แต่จากการนำแพลงก์ตอนพืชจากบ่อกลางแจ้งมาเลี้ยงในน้ำเสียผสมน้ำทะเลในห้องปฏิบัติการโดยทดลองเลี้ยงที่อุณหภูมิต่างกันในช่วง 5-33 °C ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 14 mg/l พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 27 °C (Goldman, 1977)

ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตของอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันขบวนการเมตาโบลิซึมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ต้องการปริมาณออกซิเจนที่มากขึ้น จึงอาจเกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนได้ (ประเทือง, 2534)

ความเหมาะสมของอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และการเพิ่มจำนวนคือ ในช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิต่ำ ทำให้สร้างแพลงก์ตอนพืชหรือทำให้น้ำยาก ส่วนช่วงฤดูร้อนในเขตพื้นที่ที่ร้อนจัดสามารถทำให้เกิดแพลงก์ตอนบูมจัด แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป สามารถทำให้แพลงก์ตอนพืชบางชนิดอ่อนแอและตายได้เช่นกัน (เบญจมินทร์, 2546)

### ค่าความนำไฟฟ้า (conductivity)

เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นชนิดของไอออนในน้ำและอุณหภูมิ น้ำที่มีไอออนของสารต่างๆอยู่นำไฟฟ้าได้ทั้งนั้น ค่า conductivity ไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ถ้าค่า conductivity เพิ่มขึ้น ก็แสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่า conductivity ลดลงก็แสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง (กรรณิการ์, 2544) ค่าความนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น ไมโครโมห์ / ซม. (Micromhos / cm.) หรือไมโครซีเมนส์ / ซม. (microsiemens / cm.)

### ค่าความเป็นด่าง (alkalinity)

เป็นความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกับกรดหรือที่จะรับโปรตอน ความเป็นด่างของน้ำเกิดจากองค์ประกอบของสารละลายที่สำคัญ 3 ชนิดด้วยกันคือ ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) คาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) และไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) ในทางปฏิบัติถือว่า น้ำจะมีสารละลายต่างอย่างมากเพียง 2 ชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำดังนี้

ระดับ pH	ชนิดของด่าง
มากกว่า 11.0	$\text{OH}^-$
9.4 - 11.0	$\text{OH}^-$ และ $\text{CO}_3^{2-}$
8.3 - 9.4	$\text{CO}_3^{2-}$ และ $\text{HCO}_3^-$
4.6 - 8.3	$\text{HCO}_3^-$
น้อยกว่า 4.6	มีแต่กรด

อัลคาไลน์เป็นแหล่งคาร์บอเนตสำรองของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนพืชสามารถดึงคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) มาใช้จากอัลคาไลน์ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ดี (เบญจมินทร์, 2546)

### ความกระด้าง (hardness)

ความกระด้างของน้ำจะเกิดจากปริมาณของเกลือพวกแคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) รวมไปถึงโลหะบางชนิดที่มีประจุบวก ความกระด้างของน้ำแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ความกระด้างชั่วคราว (temporary hardness) และความกระด้างถาวร (permanent hardness)

ความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำ ทั้งยังเป็นตัวช่วยลดพิษของสารพิษหลายชนิด เช่นพวกโลหะหนักต่างๆ (ประเทือง, 2534)

ในน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยจะมีพวก  $\text{Na}^+$  ปะปนอยู่มาก สามารถทำให้ค่าความกระด้างสูงขึ้นได้ ซึ่งไม่เป็นความกระด้างที่แท้จริง (pseudo hardness) (ไมตรีและคณะ, 2528)

### แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ โดยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเป็นผู้ย่อยสลาย กระบวนการย่อยสลายเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน นอกจากนี้ แอมโมเนียจะเกิดได้จากการย่อยสลายของเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ และเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่อยู่ในดิน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง ถูกกำหนดรูปของแอมโมเนียว่าจะเป็นแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) หรืออยู่ในรูปของอิออน  $\text{NH}_4^+$  ด้วยสภาพความเป็นกรด-ด่าง ดังสมการต่อไปนี้



น้ำในบ่อเลี้ยงหาก pH สูง แอมโมเนียจะอยู่ในรูป  $\text{NH}_3$  มากกว่า  $\text{NH}_4^+$  แอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวคือ  $\text{NH}_3$  ซึ่งเป็นแก๊สสามารถแพร่กระจายผ่านผนังเซลล์ได้ดี (เบญจมินทร์, 2546)

แพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนที่ละลายน้ำในรูปของแอมโมเนียมได้ดี เพราะจะสูญเสียพลังงานน้อยกว่าในการเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมให้กลายเป็นกรดอะมิโนและโปรตีน ในขณะที่ไนเตรตต้องเปลี่ยนรูปให้เป็นแอมโมเนียมภายในเซลล์ก่อน ซึ่งต้องสูญเสียพลังงานมาก (Thompson et al., 2001)

### ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen)

ไนไตรท์เป็นสภาวะรูปหนึ่งของไนโตรเจนในวัฏจักรไนโตรเจน โดยไนไตรท์สามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนียด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Denitrification ในสภาวะไร้ออกซิเจน และไนไตรท์สามารถถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า Nitrification (มันสิน, 2540)

สภาพที่เป็นกรดหรือ pH ค่อนข้างต่ำ ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นกรดไนตริก ซึ่งมีพิษต่อจุลินทรีย์ กลุ่มไนโตรแบคทีเรีย ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันชะงัก (ศุภมาศ, 2539)

### ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ ปริมาณไนเตรทสามารถบอกกำลังการผลิต (productivity) ของแหล่งน้ำได้ ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะใช้ไนเตรทในการสร้างโปรตีน แหล่งที่ได้มา ได้มาจากกระบวนการออกซิเดชันไนโตรเจนเป็นไนเตรท นอกจากนี้ยังได้มาจากการใส่ปุ๋ย ซึ่งมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จากการชะล้างซึ่งพบว่าบริเวณปากอ่าวหรือปากแม่น้ำจะพบไนเตรทในปริมาณที่สูง (ประเทือง, 2534)

### ฟอสฟอรัส (phosphorus)

เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของผู้ผลิต เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆภายในตัวของผู้ผลิต เช่น กระบวนการถ่ายเทพลังงาน กระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก ผู้ผลิตต้องการใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ ฟอสฟอรัส ออโรฟอสเฟต และฟอสเฟต ถ้าฟอสฟอรัสมีปริมาณต่ำกว่า 0.01 มิลลิกรัม / ลิตร ปริมาณจะน้อยเกินความเหมาะสมที่ผู้ผลิตในน้ำจะเจริญได้ (ศุภมาศ, 2539)

ฟอสฟอรัสเป็นตัวจำกัดการเจริญของผู้ผลิตชนิดที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ในขณะที่ไนโตรเจนจะเป็นตัวจำกัดการเจริญของผู้ผลิตชนิดที่ไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ สารประกอบของฟอสฟอรัสที่พบในน้ำพบได้ 2 รูปแบบคือ

1 สารประกอบพวกออนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphates) เป็นสารที่พบมากในแหล่งน้ำทั่วไป แบ่งเป็น

1.1 สารประกอบออโรฟอสเฟต (orthophosphates) ที่พบมากที่สุดคือ trisodium phosphate ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) disodium phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) monosodium phosphate ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) diammonium phosphate ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ บางทีเรียกว่า soluble reactive phosphorus

1.2 สารประกอบโพลีฟอสเฟต (polyphosphates) เป็นองค์ประกอบของผงซักฟอก (detergent) สามารถถูกไฮโดรไลสในน้ำกลับเป็น orthophosphate

2 สารประกอบพวอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) คือสารประกอบฟอสเฟตที่เกิดจากกระบวนการทางชีวะ เป็นฟอสเฟตที่อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น phospholipids รวมทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่ร่วมกับซากพืชซากสัตว์

จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (P), ไนโตรเจน (N), อัตรา N:P ในทะเลสาบเขตร้อนของโลก (Lake Okeechobee, Florida, USA.) ซึ่งเกิดการบุุมของไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 50  $\mu\text{g/l}$  ในปี 1970 เป็น 100  $\mu\text{g/l}$  ในปี 1990 พร้อมกับอัตรา N:P ทั้งหมดลดลงจาก 30:1 เป็น 15:1 และอัตรา N:P ที่ละลายน้ำลดลงจาก 15:1 เป็น 6:1 ในทะเลสาบ (Havens et al., 2003)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ขวดน้ำเกลือ ขนาด 1 ลิตร
2. ฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตร
3. จุกยาง, หลอดแก้ว และสายอากาศ
4. air pump, ท่อลม และหลอดไฟ
5. เครื่องวัด pH
6. น้ำเกลือ
7. เครื่องแก้ว หลอดพลาสติก และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
8. ตู้เย็น
9. เครื่องชั่งสาร
10. ที่กรองแพลงก์ตอน
11. อาหารเลี้ยงสาหร่าย
12. หม้อต้มน้ำ และถังพลาสติก
13. สไลด์นับแพลงก์ตอน
14. กล้องจุลทรรศน์
15. เครื่องวัดอุณหภูมิห้อง และเทอร์โมมิเตอร์
16. Conductivity meter
17. spectrophotometer
18. autoclave
19. salinometer
20. suction pump

### วิธีการ

การทดลองที่1 ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน แบ่งเป็น 9 ทริทเมนต์ แต่ละทริทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทริทเมนต์ที่ 1 อาหารเลี้ยงสาหร่าย
- ทริทเมนต์ที่ 2 กลุ่มควบคุม (ไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลอง)
- ทริทเมนต์ที่ 3 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3.00 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 4 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.50 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 5 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.00 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 6 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.50 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 7 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 9.00 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 8 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10.50 ตลอดการทดลอง
- ทริทเมนต์ที่ 9 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 12.00 ตลอดการทดลอง
- ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมหัวเชื้อสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยเลี้ยงในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตรที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อนำมาทดลอง
2. ทดลองเบื้องต้นเพื่อหาช่วงกว้างของความเป็นกรด-ด่างที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ โดยเลี้ยงในฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตร
3. เมื่อได้ข้อมูลจากการทดสอบช่วงความเป็นกรด-ด่าง เริ่มทำการทดลอง โดยนำหัวเชื้อสาหร่ายใส่ในภาชนะที่มีน้ำและอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วเทใส่ฟลาสให้มีปริมาตรเท่ากัน นับจำนวนเซลล์เริ่มต้น และวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนการทดลอง
4. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับต่างๆกัน คือประมาณ 3.00, 4.50, 6.00, 7.50, 9.00, 10.50, 12.00 และกลุ่มควบคุม (ไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลอง) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟูริก ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างทุกวัน เข้า-เย็น สังเกตการเปลี่ยนแปลงในแต่ละทริทเมนต์
5. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกวันตลอดการทดลอง โดยวิเคราะห์ค่า TDS, Conductivity, อุณหภูมิ, pH, TN, TP, SRP, ค่าแอมโมเนีย, ค่าไนโตรเจน, ค่าไนเตรต, ค่าความเป็นด่าง, ค่าความกระด้าง และค่าคลอโรฟิลล์ เอ รวมทั้งนับจำนวนเซลล์
6. นำข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์ผล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

**การทดลองที่ 2** ศึกษาผลของความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) เลี้ยงสาหร่าย

*Oscillatoria* sp. ที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน แบ่งเป็น 7 ทริทเมนต์ แต่ละทริทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

- ทริทเมนต์ที่ 1 อาหารเลี้ยงสาหร่าย
- ทริทเมนต์ที่ 2 กลุ่มควบคุม (ค่าความเค็ม 0 ppt)
- ทริทเมนต์ที่ 3 ปรับค่าความเค็มประมาณ 4 ppt
- ทริทเมนต์ที่ 4 ปรับค่าความเค็มประมาณ 8 ppt
- ทริทเมนต์ที่ 5 ปรับค่าความเค็มประมาณ 12 ppt
- ทริทเมนต์ที่ 6 ปรับค่าความเค็มประมาณ 16 ppt
- ทริทเมนต์ที่ 7 ปรับค่าความเค็มประมาณ 20 ppt

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมหัวเชื้อสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยเลี้ยงในขวดน้ำเกลือ
2. ทดลองเบื้องต้นหาช่วงความเค็มที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้
3. เมื่อได้ข้อมูล เริ่มทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่ายในฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตร นับจำนวนเซลล์เริ่มต้น และวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนการทดลอง
4. ปรับค่าความเค็มที่ต่างกันคือประมาณ 4, 8, 12, 16, 20 ppt และกลุ่มควบคุม (ค่าความเค็ม 0 ppt) โดยใช้น้ำเกลือมาเจือจางน้ำให้ได้ความเค็มตามต้องการ
5. วิเคราะห์คุณภาพน้ำวันเว้นวันตลอดการทดลอง
6. นำข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์ผล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

**การบันทึกข้อมูล**

1. บันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำแต่ละทริทเมนต์
2. บันทึกจำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp. ที่เปลี่ยนแปลง

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 10.0 for Windows

**สถานที่ทำการทดลอง**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ระยะเวลาในการทดลอง**

เริ่มทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม 2546 – เดือนกุมภาพันธ์ 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองและวิจารณ์

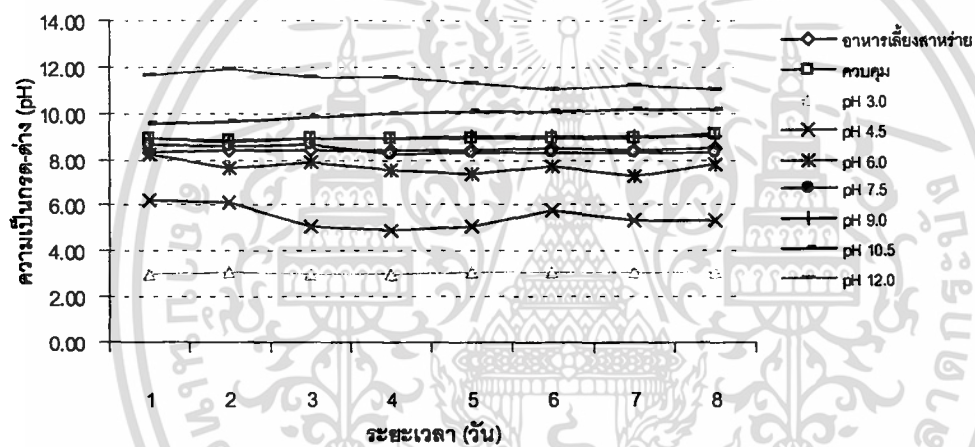
### การทดลองที่ 1

ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 9 ทรีทเมนต์ แต่ละทรีทเมนต์มี 3 ซ้ำ พบว่า

#### 1. คุณภาพน้ำ

##### 1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

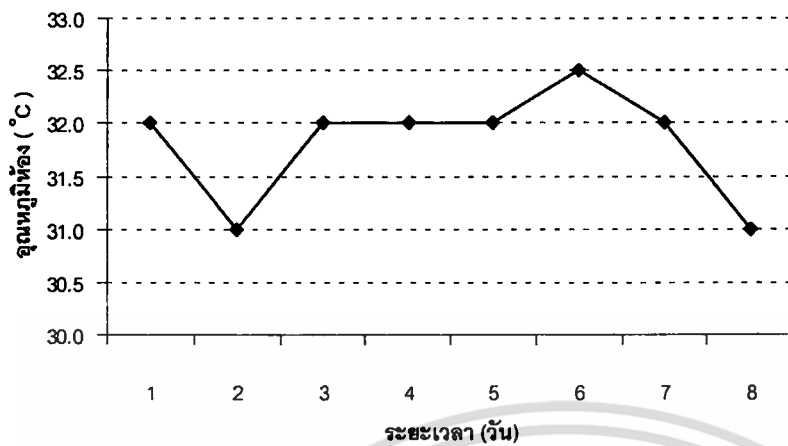
ความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $2.97 \pm 0.01$  ถึง  $11.88 \pm 0.02$  จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 2 และตารางที่ 1)



ภาพที่ 2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp.

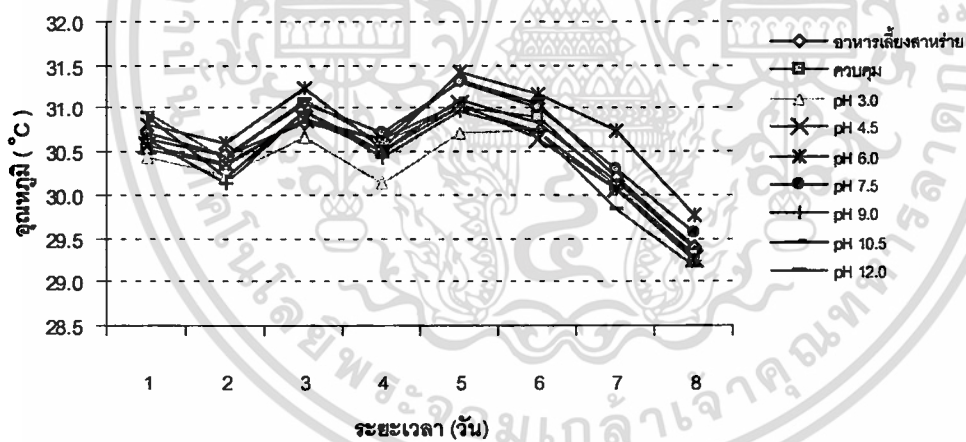
##### 1.1 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิห้องตลอดการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $31.0 \pm 0.3$  ถึง  $32.5 \pm 0.4$  องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 3 และตารางที่ 2)



ภาพที่ 3 อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $29.2 \pm 0.0$  ถึง  $31.4 \pm 0.1$  องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 4 และตารางที่ 3)

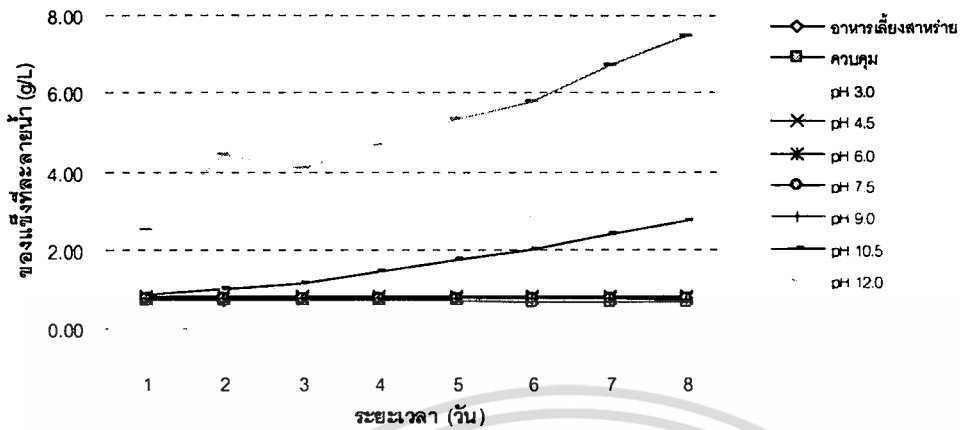


ภาพที่ 4 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total dissolved solids ;TDS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.63 \pm 0.02$  ถึง  $7.47 \pm 0.24$  กรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 5,6 และตารางที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



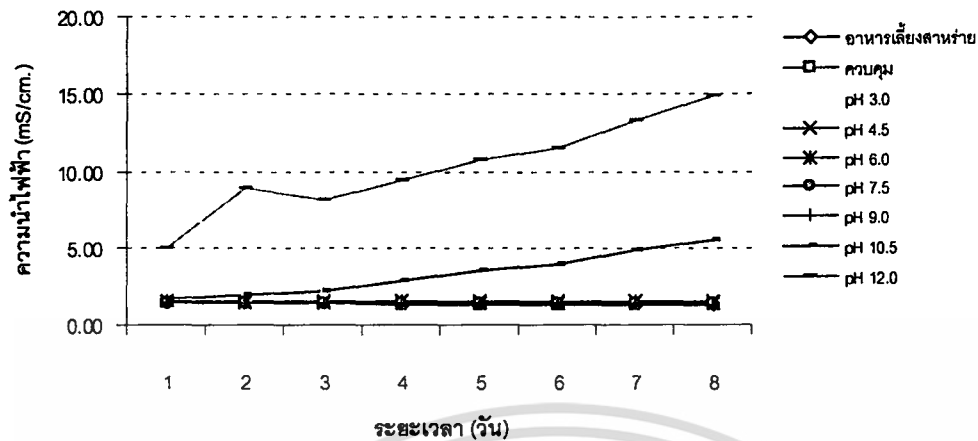
ภาพที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน



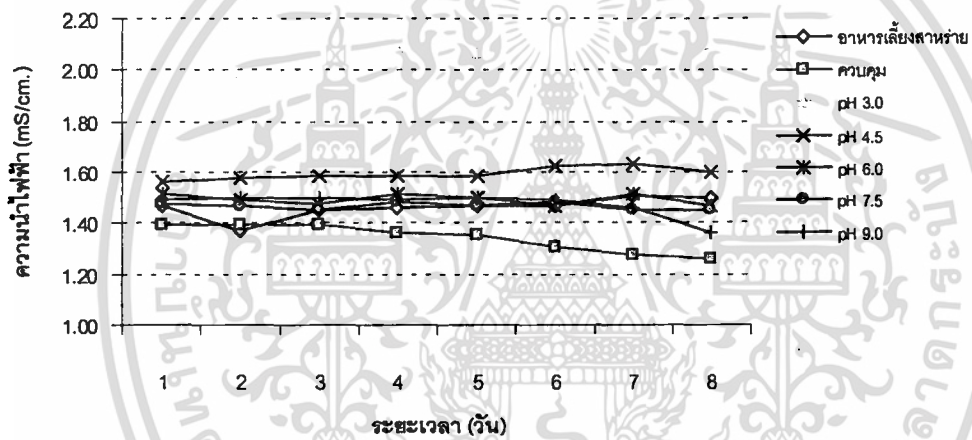
ภาพที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

#### 1.4 ความนำไฟฟ้า (conductivity)

ความนำไฟฟ้าตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.26 \pm 0.04$  ถึง  $14.93 \pm 0.48$  mS/cm จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 7,8 และ ตารางที่ 5) ความนำไฟฟ้าของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 10.5 และ 12.0 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ



ภาพที่ 7 ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน



ภาพที่ 8 ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 1.5 ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0 \pm 0$  ถึง  $9367 \pm 389$  มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ค่าความเป็นด่างจะสูงขึ้นตามซึ่งสอดคล้องกับ มันทิน (2540) กล่าวไว้ที่ความเป็นกรด-ด่างสูงๆ ( $>9.4$ ) จะพบสารละลายต่าง 2 ชนิดคือ ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) และ คาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ที่ทำให้ค่าความเป็นด่างสูง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 9,10 และตารางที่ 6)

ตารางที่ 1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ก่อนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละวัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	8.33±0.01 <sup>a</sup>	8.97±0.06 <sup>a</sup>	2.97±0.01 <sup>b</sup>	6.20±0.57 <sup>c</sup>	8.20±0.30 <sup>a</sup>	8.70±0.20 <sup>a</sup>	8.95±0.18 <sup>a</sup>	9.53±0.08 <sup>a</sup>	11.64±0.02 <sup>a</sup>
2	8.37±0.01 <sup>a</sup>	8.84±0.07 <sup>a</sup>	3.07±0.01 <sup>b</sup>	6.15±0.12 <sup>c</sup>	7.59±0.24 <sup>d</sup>	8.57±0.10 <sup>a</sup>	8.79±0.07 <sup>a</sup>	9.64±0.08 <sup>a</sup>	11.88±0.02 <sup>l</sup>
3	8.40±0.01 <sup>cd</sup>	8.93±0.09 <sup>a</sup>	3.01±0.01 <sup>b</sup>	5.07±0.25 <sup>c</sup>	7.87±0.32 <sup>d</sup>	8.62±0.08 <sup>a</sup>	8.91±0.04 <sup>a</sup>	9.78±0.08 <sup>a</sup>	11.57±0.08 <sup>l</sup>
4	8.39±0.01 <sup>a</sup>	8.89±0.11 <sup>a</sup>	3.01±0.01 <sup>b</sup>	4.90±0.43 <sup>c</sup>	7.52±0.23 <sup>d</sup>	8.22±0.07 <sup>cd</sup>	8.92±0.05 <sup>a</sup>	9.99±0.07 <sup>a</sup>	11.52±0.08 <sup>l</sup>
5	8.43±0.02 <sup>a</sup>	8.96±0.07 <sup>a</sup>	3.05±0.00 <sup>b</sup>	5.06±0.58 <sup>c</sup>	7.35±0.21 <sup>d</sup>	8.30±0.08 <sup>cd</sup>	8.98±0.08 <sup>a</sup>	10.08±0.03 <sup>a</sup>	11.29±0.03 <sup>l</sup>
6	8.45±0.01 <sup>cd</sup>	8.96±0.05 <sup>ab</sup>	3.05±0.01 <sup>b</sup>	5.79±0.67 <sup>c</sup>	7.73±0.26 <sup>d</sup>	8.31±0.08 <sup>cd</sup>	8.98±0.04 <sup>ab</sup>	10.10±0.00 <sup>ab</sup>	11.06±0.02 <sup>l</sup>
7	8.42±0.01 <sup>cd</sup>	8.95±0.07 <sup>ab</sup>	3.04±0.00 <sup>b</sup>	5.31±0.62 <sup>c</sup>	7.26±0.45 <sup>d</sup>	8.28±0.08 <sup>cd</sup>	8.97±0.06 <sup>ab</sup>	10.12±0.02 <sup>ab</sup>	11.21±0.08 <sup>l</sup>
8	8.46±0.01 <sup>cd</sup>	9.07±0.10 <sup>ab</sup>	3.08±0.01 <sup>b</sup>	5.33±0.68 <sup>c</sup>	7.80±0.16 <sup>d</sup>	8.31±0.07 <sup>cd</sup>	9.04±0.06 <sup>ab</sup>	10.14±0.02 <sup>ab</sup>	11.04±0.01 <sup>l</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 2 อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อุณหภูมิห้อง (°C)		
	เวลา 12.00 น.	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	32.0±0.3 <sup>a</sup>	32.5±0.2 <sup>a</sup>	31.5±0.2 <sup>a</sup>
2	31.0±0.2 <sup>a</sup>	32.0±0.1 <sup>a</sup>	31.0±0.1 <sup>a</sup>
3	32.0±0.3 <sup>a</sup>	33.0±0.2 <sup>a</sup>	32.0±0.1 <sup>a</sup>
4	32.0±0.1 <sup>a</sup>	32.5±0.1 <sup>a</sup>	32.0±0.2 <sup>a</sup>
5	32.0±0.3 <sup>a</sup>	33.0±0.2 <sup>a</sup>	32.0±0.1 <sup>a</sup>
6	32.5±0.4 <sup>a</sup>	33.0±0.0 <sup>a</sup>	32.5±0.2 <sup>a</sup>
7	32.0±0.1 <sup>a</sup>	33.0±0.2 <sup>a</sup>	32.0±0.3 <sup>a</sup>
8	31.0±0.3 <sup>a</sup>	32.0±0.2 <sup>a</sup>	31.0±0.3 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	30.6±0.1 <sup>a</sup>	30.5±0.1 <sup>a</sup>	30.4±0.1 <sup>a</sup>	30.6±0.1 <sup>a</sup>	30.8±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.6±0.2 <sup>a</sup>	30.9±0.1 <sup>a</sup>	30.9±0.0 <sup>a</sup>
2	30.5±0.1 <sup>a</sup>	30.3±0.0 <sup>a</sup>	30.2±0.1 <sup>a</sup>	30.4±0.1 <sup>a</sup>	30.6±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.1±0.1 <sup>a</sup>	30.2±0.1 <sup>a</sup>	30.4±0.1 <sup>a</sup>
3	30.8±0.2 <sup>a</sup>	30.9±0.0 <sup>a</sup>	30.7±0.2 <sup>a</sup>	30.9±0.0 <sup>a</sup>	31.2±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	31.0±0.2 <sup>a</sup>	31.0±0.1 <sup>a</sup>	31.1±0.1 <sup>a</sup>
4	30.6±0.2 <sup>a</sup>	30.5±0.2 <sup>a</sup>	30.1±0.2 <sup>a</sup>	30.6±0.2 <sup>a</sup>	30.5±0.0 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.4±0.1 <sup>a</sup>	30.5±0.2 <sup>a</sup>	30.6±0.1 <sup>a</sup>
5	31.3±0.2 <sup>a</sup>	31.0±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.2 <sup>a</sup>	31.1±0.1 <sup>a</sup>	31.4±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	31.0±0.2 <sup>a</sup>	31.1±0.2 <sup>a</sup>	31.0±0.0 <sup>a</sup>
6	31.1±0.2 <sup>a</sup>	30.9±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.0 <sup>a</sup>	30.6±0.0 <sup>a</sup>	31.2±0.0 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.8±0.2 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>
7	30.2±0.2 <sup>a</sup>	30.1±0.2 <sup>a</sup>	30.1±0.1 <sup>a</sup>	30.1±0.0 <sup>a</sup>	30.7±0.2 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	30.1±0.2 <sup>a</sup>	30.2±0.2 <sup>a</sup>	29.8±0.2 <sup>a</sup>
8	29.4±0.2 <sup>a</sup>	29.3±0.2 <sup>a</sup>	29.3±0.1 <sup>a</sup>	29.3±0.1 <sup>a</sup>	29.8±0.1 <sup>a</sup>	30.7±0.1 <sup>a</sup>	29.2±0.1 <sup>a</sup>	29.4±0.2 <sup>a</sup>	29.2±0.0 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.73±0.01 <sup>bc</sup>	0.69±0.01 <sup>a</sup>	1.04±0.01 <sup>b</sup>	0.78±0.00 <sup>cd</sup>	0.75±0.00 <sup>bc</sup>	0.73±0.00 <sup>bc</sup>	0.74±0.01 <sup>bc</sup>	0.83±0.00 <sup>d</sup>	2.47±0.04 <sup>e</sup>
2	0.68±0.02 <sup>a</sup>	0.69±0.00 <sup>a</sup>	0.97±0.01 <sup>b</sup>	0.79±0.01 <sup>c</sup>	0.74±0.00 <sup>bc</sup>	0.73±0.00 <sup>bc</sup>	0.75±0.01 <sup>bc</sup>	0.97±0.01 <sup>b</sup>	4.44±0.05 <sup>d</sup>
3	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	1.01±0.03 <sup>bc</sup>	0.79±0.02 <sup>ab</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.75±0.01 <sup>a</sup>	1.13±0.02 <sup>c</sup>	4.05±0.14 <sup>d</sup>
4	0.73±0.01 <sup>ab</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>	1.03±0.04 <sup>b</sup>	0.79±0.03 <sup>ab</sup>	0.76±0.01 <sup>ab</sup>	0.74±0.00 <sup>ab</sup>	0.75±0.02 <sup>ab</sup>	1.43±0.07 <sup>c</sup>	4.69±0.18 <sup>d</sup>
5	0.74±0.01 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>a</sup>	1.03±0.04 <sup>a</sup>	0.79±0.03 <sup>a</sup>	0.75±0.00 <sup>a</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>a</sup>	1.74±0.12 <sup>b</sup>	5.34±0.30 <sup>c</sup>
6	0.73±0.02 <sup>a</sup>	0.66±0.03 <sup>a</sup>	1.05±0.03 <sup>a</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>a</sup>	0.74±0.02 <sup>a</sup>	0.75±0.03 <sup>a</sup>	1.99±0.17 <sup>b</sup>	5.77±0.27 <sup>c</sup>
7	0.75±0.02 <sup>a</sup>	0.64±0.03 <sup>a</sup>	1.05±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>	0.76±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.04 <sup>a</sup>	2.41±0.23 <sup>b</sup>	6.71±0.24 <sup>c</sup>
8	0.75±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.02 <sup>a</sup>	1.05±0.02 <sup>a</sup>	0.80±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.68±0.05 <sup>a</sup>	2.74±0.25 <sup>b</sup>	7.47±0.24 <sup>c</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

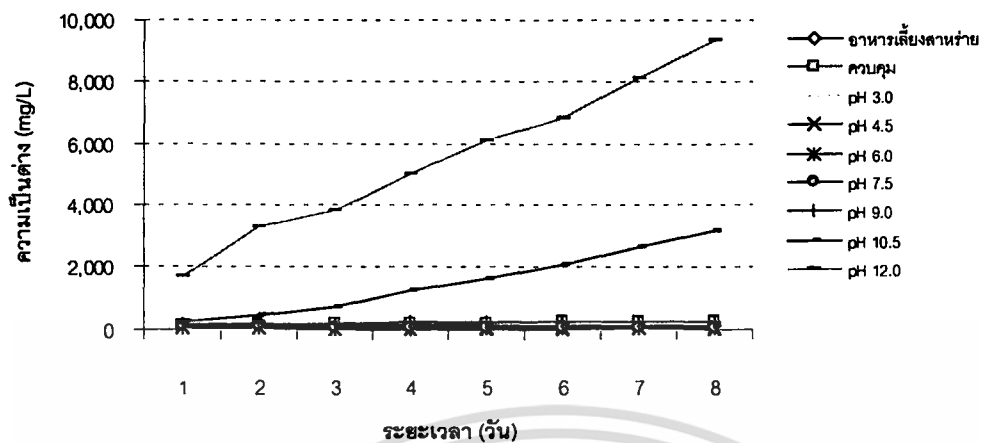
อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 5 ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

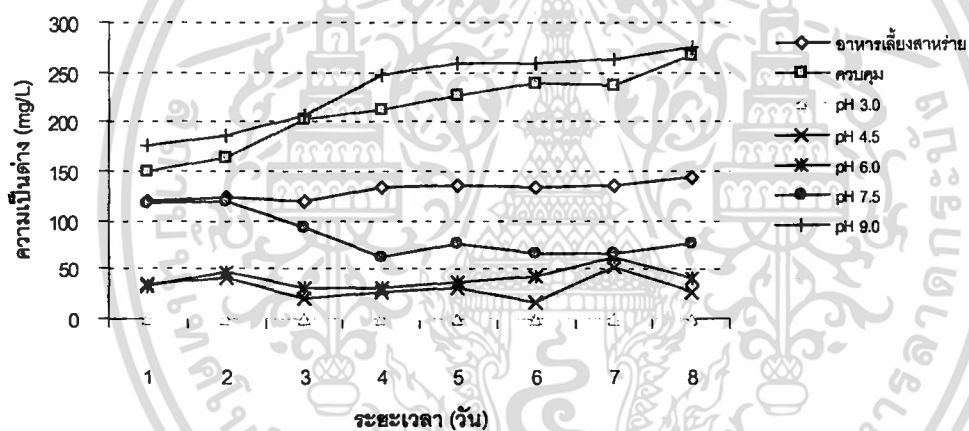
เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	1.46±0.01 <sup>ac</sup>	1.39±0.01 <sup>a</sup>	2.12±0.01 <sup>b</sup>	1.56±0.01 <sup>cd</sup>	1.51±0.01 <sup>bcd</sup>	1.48±0.01 <sup>bc</sup>	1.49±0.02 <sup>bc</sup>	1.65±0.01 <sup>d</sup>	4.97±0.08 <sup>e</sup>
2	1.37±0.04 <sup>a</sup>	1.39±0.00 <sup>a</sup>	1.96±0.01 <sup>b</sup>	1.58±0.02 <sup>a</sup>	1.49±0.01 <sup>a</sup>	1.47±0.01 <sup>a</sup>	1.50±0.02 <sup>a</sup>	1.94±0.01 <sup>b</sup>	8.87±0.12 <sup>c</sup>
3	1.45±0.01 <sup>a</sup>	1.40±0.01 <sup>a</sup>	2.03±0.06 <sup>bc</sup>	1.58±0.05 <sup>bb</sup>	1.47±0.02 <sup>a</sup>	1.45±0.03 <sup>a</sup>	1.50±0.03 <sup>a</sup>	2.27±0.04 <sup>c</sup>	8.10±0.28 <sup>d</sup>
4	1.46±0.02 <sup>bb</sup>	1.36±0.03 <sup>a</sup>	2.09±0.07 <sup>b</sup>	1.59±0.05 <sup>bb</sup>	1.51±0.02 <sup>bb</sup>	1.48±0.01 <sup>bb</sup>	1.49±0.04 <sup>bb</sup>	2.87±0.14 <sup>c</sup>	9.38±0.36 <sup>d</sup>
5	1.47±0.01 <sup>a</sup>	1.36±0.03 <sup>a</sup>	2.07±0.08 <sup>a</sup>	1.59±0.05 <sup>a</sup>	1.50±0.01 <sup>a</sup>	1.47±0.02 <sup>a</sup>	1.50±0.04 <sup>a</sup>	3.47±0.24 <sup>b</sup>	10.69±0.63 <sup>e</sup>
6	1.47±0.03 <sup>a</sup>	1.31±0.06 <sup>a</sup>	2.08±0.05 <sup>a</sup>	1.63±0.03 <sup>a</sup>	1.47±0.04 <sup>a</sup>	1.48±0.03 <sup>a</sup>	1.49±0.06 <sup>a</sup>	3.97±0.35 <sup>b</sup>	11.52±0.55 <sup>e</sup>
7	1.50±0.04 <sup>a</sup>	1.28±0.06 <sup>a</sup>	2.09±0.02 <sup>a</sup>	1.63±0.04 <sup>a</sup>	1.51±0.04 <sup>a</sup>	1.45±0.03 <sup>a</sup>	1.46±0.08 <sup>a</sup>	4.81±0.45 <sup>b</sup>	13.40±0.49 <sup>e</sup>
8	1.50±0.03 <sup>a</sup>	1.26±0.04 <sup>a</sup>	2.11±0.05 <sup>a</sup>	1.60±0.04 <sup>a</sup>	1.46±0.03 <sup>a</sup>	1.45±0.03 <sup>a</sup>	1.36±0.10 <sup>a</sup>	5.48±0.51 <sup>b</sup>	14.93±0.48 <sup>e</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 9 ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

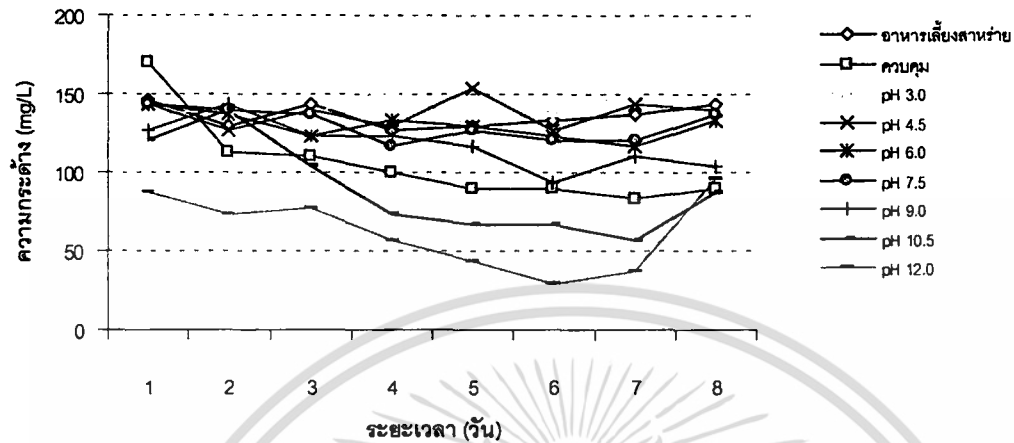


ภาพที่ 10 ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

#### 1.6 ความกระด้าง (hardness)

ความกระด้างตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $30 \pm 6$  ถึง  $170 \pm 25$  มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่างสูงๆ พบว่าจะมีความกระด้างน้อย สอดคล้องกับเบญจมินทร์ (2546) กล่าวว่าการความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น แคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) จะตกตะกอนกับคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ทำให้ความกระด้างลดลง และแคลเซียมจะถูกดึงไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืชระหว่างการทดลองในชุดควบคุม, ค่าความเป็นกรด-

ต่าง ที่ 6.0, 7.5, 9.0 และ 10.5 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าความกระด้างจะลดลง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 11 และตารางที่ 7)



ภาพที่ 11 ความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

#### 1.7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $9.64 \pm 0.95$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นชุดการทดลองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้แก่ ชุดควบคุม, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0, 7.5, 9.0 และ 10.5 ส่วนค่าที่มีแนวโน้มคงที่คือ อาหารเลี้ยงสาหร่าย, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 และ 4.5 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่ช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 8 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 12 และตารางที่ 8)

ตารางที่ 6 ความเป็นต่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ต่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	120±6 <sup>a</sup>	150±6 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	35±3 <sup>a</sup>	33±3 <sup>a</sup>	117±3 <sup>a</sup>	177±3 <sup>a</sup>	270±6 <sup>a</sup>	1680±150 <sup>b</sup>
2	123±3 <sup>ab</sup>	163±12 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>	40±6 <sup>bc</sup>	47±9 <sup>bc</sup>	120±6 <sup>ab</sup>	187±7 <sup>b</sup>	470±12 <sup>d</sup>	3317±50 <sup>e</sup>
3	120±0 <sup>a</sup>	203±20 <sup>ab</sup>	0±0 <sup>a</sup>	20±0 <sup>a</sup>	30±6 <sup>a</sup>	93±9 <sup>a</sup>	207±3 <sup>ab</sup>	733±175 <sup>b</sup>	3823±205 <sup>c</sup>
4	133±7 <sup>a</sup>	213±12 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	27±9 <sup>a</sup>	30±0 <sup>a</sup>	63±7 <sup>a</sup>	247±22 <sup>a</sup>	1240±93 <sup>b</sup>	5020±442 <sup>c</sup>
5	137±7 <sup>a</sup>	227±12 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	30±6 <sup>a</sup>	37±3 <sup>a</sup>	77±3 <sup>a</sup>	260±6 <sup>a</sup>	1643±184 <sup>b</sup>	6080±382 <sup>c</sup>
6	133±3 <sup>a</sup>	240±21 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	17±3 <sup>a</sup>	43±3 <sup>a</sup>	67±3 <sup>a</sup>	260±10 <sup>a</sup>	2050±232 <sup>b</sup>	6820±477 <sup>c</sup>
7	137±9 <sup>a</sup>	237±23 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	53±13 <sup>a</sup>	63±9 <sup>a</sup>	67±3 <sup>a</sup>	263±19 <sup>a</sup>	2660±293 <sup>b</sup>	8113±294 <sup>c</sup>
8	143±3 <sup>a</sup>	267±33 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	27±3 <sup>a</sup>	40±6 <sup>a</sup>	77±3 <sup>a</sup>	277±3 <sup>a</sup>	3170±344 <sup>b</sup>	9367±389 <sup>c</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

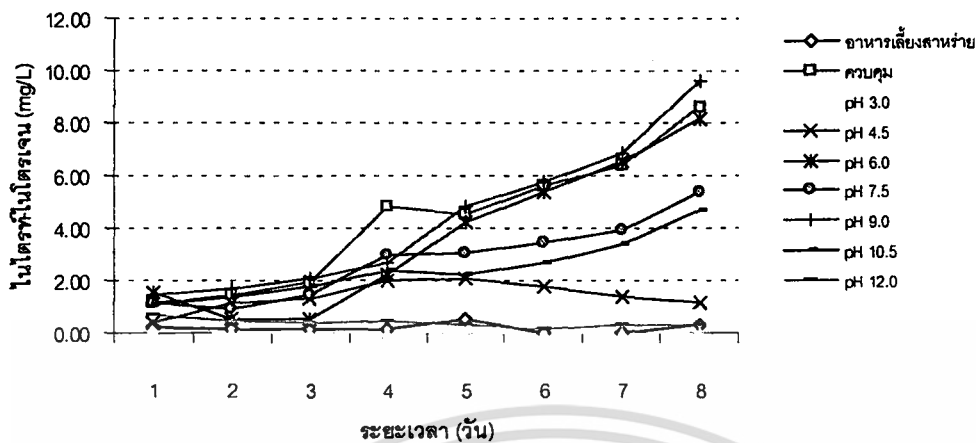
อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 7 ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	147±3 <sup>ab</sup>	170±25 <sup>a</sup>	137±7 <sup>ab</sup>	143±7 <sup>ab</sup>	143±12 <sup>ab</sup>	143±9 <sup>ab</sup>	127±9 <sup>ab</sup>	120±0 <sup>ab</sup>	87±19 <sup>b</sup>
2	130±10 <sup>ab</sup>	113±9 <sup>ab</sup>	140±10 <sup>a</sup>	127±3 <sup>ab</sup>	137±12 <sup>a</sup>	140±0 <sup>a</sup>	143±9 <sup>a</sup>	140±15 <sup>a</sup>	73±3 <sup>b</sup>
3	143±9 <sup>a</sup>	110±6 <sup>ab</sup>	137±3 <sup>a</sup>	140±6 <sup>a</sup>	123±7 <sup>ab</sup>	137±7 <sup>a</sup>	123±9 <sup>ab</sup>	103±7 <sup>ab</sup>	77±13 <sup>b</sup>
4	127±3 <sup>ab</sup>	100±15 <sup>abc</sup>	153±19 <sup>b</sup>	130±6 <sup>ab</sup>	133±7 <sup>ab</sup>	117±7 <sup>abc</sup>	123±9 <sup>ab</sup>	73±9 <sup>bc</sup>	57±9 <sup>c</sup>
5	130±6 <sup>ab</sup>	90±15 <sup>abc</sup>	130±6 <sup>ab</sup>	153±12 <sup>a</sup>	130±10 <sup>ab</sup>	127±9 <sup>ab</sup>	117±17 <sup>ab</sup>	67±3 <sup>bc</sup>	43±9 <sup>c</sup>
6	133±7 <sup>a</sup>	90±21 <sup>abc</sup>	140±6 <sup>a</sup>	127±7 <sup>ab</sup>	123±9 <sup>ab</sup>	120±10 <sup>ab</sup>	93±15 <sup>abc</sup>	67±3 <sup>bc</sup>	30±6 <sup>c</sup>
7	137±3 <sup>a</sup>	83±15 <sup>abc</sup>	150±0 <sup>a</sup>	143±9 <sup>a</sup>	117±7 <sup>ab</sup>	120±6 <sup>ab</sup>	110±25 <sup>abc</sup>	57±9 <sup>bc</sup>	37±17 <sup>c</sup>
8	143±3 <sup>ab</sup>	90±12 <sup>a</sup>	167±12 <sup>b</sup>	140±6 <sup>ab</sup>	133±9 <sup>ab</sup>	137±3 <sup>ab</sup>	103±12 <sup>ab</sup>	87±9 <sup>a</sup>	97±18 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

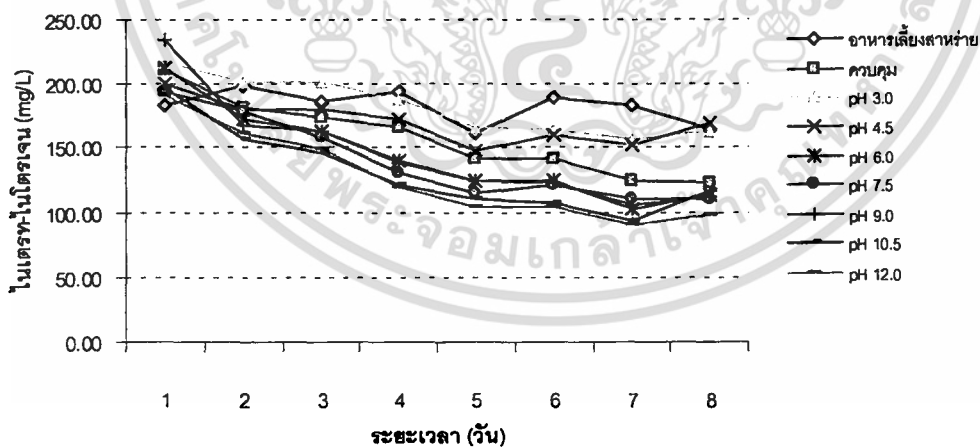
อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 12 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria sp.* ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 1.8 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $89.48 \pm 2.85$  ถึง  $234.24 \pm 27.81$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 13 และตารางที่ 9)



ภาพที่ 13 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria sp.* ที่ระดับ pH ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.25±0.01 <sup>a</sup>	1.15±0.08 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	0.4±0.20 <sup>a</sup>	1.57±0.25 <sup>a</sup>	1.14±0.09 <sup>a</sup>	1.48±0.21 <sup>a</sup>	1.08±0.06 <sup>a</sup>	0.66±0.02 <sup>a</sup>
2	0.14±0.01 <sup>a</sup>	1.47±0.08 <sup>a</sup>	0.01±0.01 <sup>a</sup>	1.19±0.76 <sup>a</sup>	0.5±0.07 <sup>a</sup>	0.91±0.41 <sup>a</sup>	1.69±0.15 <sup>a</sup>	1.38±0.06 <sup>a</sup>	0.43±0.01 <sup>a</sup>
3	0.16±0.01 <sup>a</sup>	1.89±0.06 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.29±0.94 <sup>a</sup>	0.50±0.12 <sup>a</sup>	1.44±0.08 <sup>a</sup>	2.05±0.20 <sup>a</sup>	1.80±0.09 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>
4	0.15±0.02 <sup>a</sup>	4.85±0.22 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	2.04±1.75 <sup>a</sup>	2.21±0.80 <sup>a</sup>	2.96±0.09 <sup>a</sup>	2.69±0.07 <sup>a</sup>	2.41±0.16 <sup>a</sup>	0.45±0.03 <sup>a</sup>
5	0.55±0.51 <sup>a</sup>	4.57±0.09 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	2.05±1.98 <sup>a</sup>	4.21±1.13 <sup>a</sup>	3.06±0.11 <sup>a</sup>	4.84±0.20 <sup>a</sup>	2.21±0.18 <sup>a</sup>	0.29±0.04 <sup>a</sup>
6	0.00±0.00 <sup>a</sup>	5.59±0.14 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.76±1.74 <sup>ab</sup>	5.40±1.52 <sup>b</sup>	3.46±0.24 <sup>ab</sup>	5.77±0.45 <sup>b</sup>	2.69±0.21 <sup>ab</sup>	0.14±0.03 <sup>a</sup>
7	0.04±0.02 <sup>a</sup>	6.39±0.14 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.41±1.39 <sup>a</sup>	6.53±1.53 <sup>b</sup>	3.95±0.20 <sup>ab</sup>	6.83±0.38 <sup>b</sup>	3.36±0.32 <sup>ab</sup>	0.35±0.07 <sup>a</sup>
8	0.30±0.22 <sup>a</sup>	8.65±0.51 <sup>b</sup>	0.01±0.01 <sup>a</sup>	1.15±1.12 <sup>bc</sup>	8.14±1.70 <sup>b</sup>	5.41±0.58 <sup>bc</sup>	9.64±0.95 <sup>b</sup>	4.69±0.26 <sup>abc</sup>	0.30±0.06 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

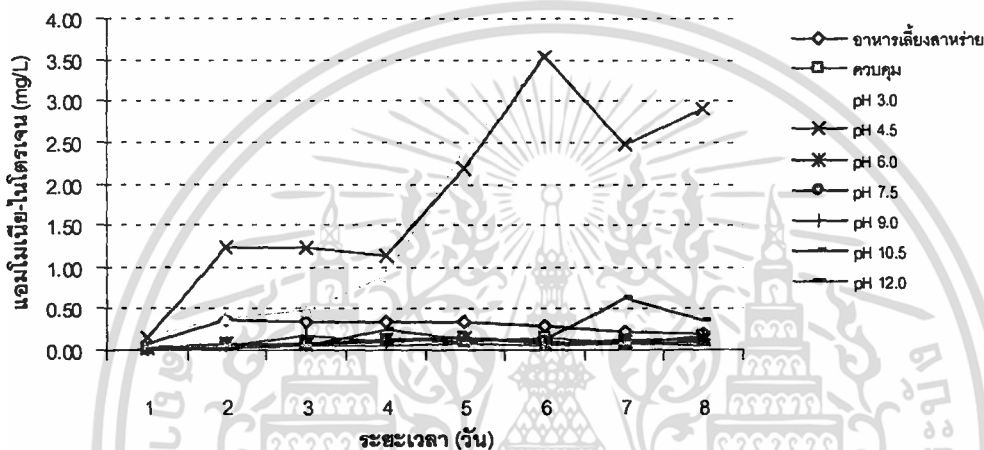
ตารางที่ 9 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	183.01±5.96 <sup>a</sup>	211.92±6.11 <sup>a</sup>	217.13±8.20 <sup>a</sup>	200.75±7.05 <sup>a</sup>	212.39±6.54 <sup>a</sup>	194.64±6.70 <sup>a</sup>	234.24±27.81 <sup>a</sup>	197.08±7.47 <sup>a</sup>	190.35±3.10 <sup>a</sup>
2	198.92±10.61 <sup>a</sup>	181.80±2.39 <sup>a</sup>	201.74±6.24 <sup>a</sup>	179.69±5.38 <sup>a</sup>	172.33±2.88 <sup>a</sup>	178.48±4.53 <sup>a</sup>	166.97±6.39 <sup>a</sup>	156.39±2.72 <sup>a</sup>	160.93±5.65 <sup>a</sup>
3	186.09±10.54 <sup>a</sup>	173.93±6.93 <sup>a</sup>	202.34±6.25 <sup>a</sup>	179.89±8.70 <sup>a</sup>	162.79±1.91 <sup>a</sup>	158.43±3.07 <sup>a</sup>	162.89±8.84 <sup>a</sup>	146.45±2.87 <sup>a</sup>	148.94±10.05 <sup>a</sup>
4	193.84±15.20 <sup>a</sup>	166.79±1.45 <sup>a</sup>	187.14±7.05 <sup>a</sup>	171.99±5.57 <sup>a</sup>	140.21±2.24 <sup>a</sup>	130.97±3.75 <sup>a</sup>	138.69±3.20 <sup>a</sup>	121.24±1.77 <sup>a</sup>	120.07±5.52 <sup>a</sup>
5	160.80±12.74 <sup>a</sup>	140.99±3.94 <sup>a</sup>	166.87±0.79 <sup>a</sup>	148.13±5.77 <sup>a</sup>	124.36±5.14 <sup>a</sup>	115.38±3.08 <sup>a</sup>	123.87±4.37 <sup>a</sup>	110.26±1.61 <sup>a</sup>	103.98±6.69 <sup>a</sup>
6	188.93±6.66 <sup>a</sup>	141.31±11.95 <sup>a</sup>	164.48±8.53 <sup>a</sup>	159.30±6.01 <sup>a</sup>	124.06±3.84 <sup>a</sup>	120.79±1.70 <sup>a</sup>	122.65±0.92 <sup>a</sup>	106.80±0.36 <sup>a</sup>	103.54±7.73 <sup>a</sup>
7	183.52±10.01 <sup>a</sup>	123.52±6.03 <sup>a</sup>	156.88±6.73 <sup>a</sup>	152.04±7.68 <sup>a</sup>	102.22±1.00 <sup>a</sup>	110.16±3.04 <sup>a</sup>	105.05±2.56 <sup>a</sup>	93.46±3.65 <sup>a</sup>	89.48±2.85 <sup>a</sup>
8	165.08±24.75 <sup>a</sup>	123.20±3.14 <sup>a</sup>	163.28±11.43 <sup>a</sup>	152.04±9.22 <sup>a</sup>	113.87±6.65 <sup>a</sup>	110.34±2.18 <sup>a</sup>	111.92±8.81 <sup>a</sup>	116.88±7.37 <sup>a</sup>	97.13±6.03 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

### 1.9 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

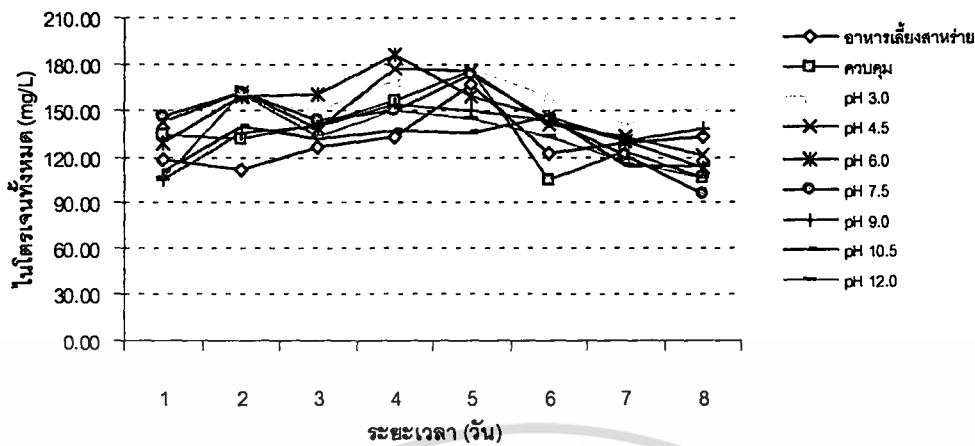
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $3.60 \pm 0.30$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 และ 4.5 พบว่ามีความแตกต่างจากกลุ่มคือมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นซึ่งสอดคล้องกับเบญจมิตร (2546) กล่าวว่าเมื่อสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีการตายอย่างฉับพลันในปริมาณมาก ส่งผลให้สารอินทรีย์มีปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดแอมโมเนียในน้ำได้ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 14 และตารางที่ 10)



ภาพที่ 14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 1.10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen ;TN)

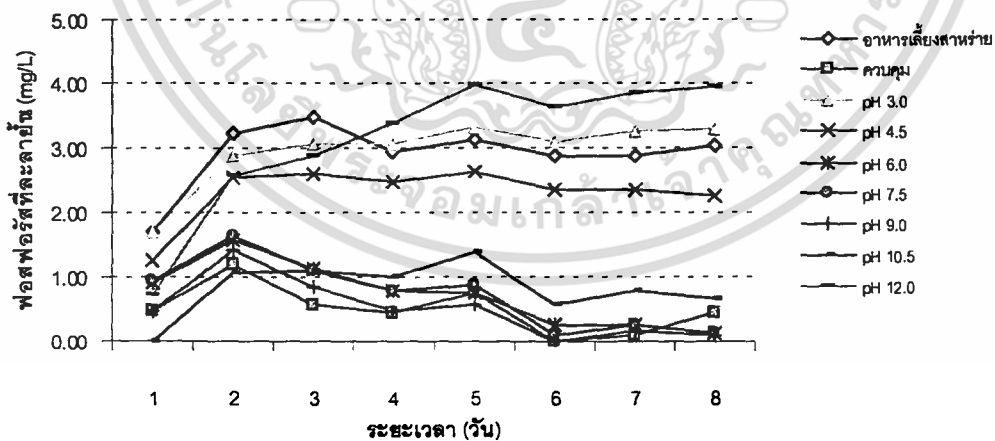
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $95.45 \pm 5.29$  ถึง  $186.62 \pm 22.10$  มิลลิกรัมต่อลิตร ทุกชุดการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 15 และตารางที่ 11)



ภาพที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria sp.* ที่ระดับ pH ต่างกัน

#### 1.11 ออร์โธฟอสเฟต (soluble reactive phosphorus ;SRP)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $3.96 \pm 0.66$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงได้แก่ ชุดควบคุม, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0, 7.5 และ 9.0 ส่วนชุดการทดลองที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคือ อาหารเลี้ยงสาหร่าย, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0, 4.5, 10.5 และ 12.0 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 16 และตารางที่ 12)



ภาพที่ 16 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria sp.* ที่ระดับ pH ต่างกัน

ตารางที่ 10 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.08±0.04 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.17±0.03 <sup>a</sup>	0.15±0.06 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.01±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>a</sup>
2	0.35±0.02 <sup>a</sup>	0.06±0.02 <sup>a</sup>	0.40±0.04 <sup>a</sup>	1.24±0.59 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.03 <sup>a</sup>	0.01±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>a</sup>
3	0.33±0.02 <sup>a</sup>	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.48±0.06 <sup>a</sup>	1.24±0.60 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.02 <sup>a</sup>	0.18±0.08 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.04±0.01 <sup>a</sup>
4	0.34±0.02 <sup>a</sup>	0.12±0.03 <sup>a</sup>	0.90±0.15 <sup>a</sup>	1.14±0.49 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.1±0.02 <sup>a</sup>	0.09±0.03 <sup>a</sup>	0.23±0.17 <sup>a</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>
5	0.33±0.01 <sup>a</sup>	0.09±0.02 <sup>a</sup>	2.41±0.24 <sup>a</sup>	2.19±0.89 <sup>a</sup>	0.15±0.03 <sup>a</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.00 <sup>a</sup>
6	0.29±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	3.54±0.50 <sup>a</sup>	3.54±1.65 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>a</sup>	0.13±0.06 <sup>a</sup>	0.06±0.00 <sup>a</sup>
7	0.21±0.07 <sup>a</sup>	0.08±0.02 <sup>a</sup>	3.07±0.38 <sup>a</sup>	2.47±1.75 <sup>a</sup>	0.09±0.02 <sup>a</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>	0.11±0.04 <sup>a</sup>	0.62±0.31 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>a</sup>
8	0.19±0.09 <sup>a</sup>	0.17±0.07 <sup>a</sup>	3.6±0.30 <sup>a</sup>	2.91±1.86 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>a</sup>	0.37±0.06 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 11 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	117.59±6.74 <sup>a</sup>	133.82±4.65 <sup>a</sup>	146.34±10.58 <sup>a</sup>	141.12±14.73 <sup>a</sup>	127.98±11.75 <sup>a</sup>	145.50±5.47 <sup>a</sup>	105.19±9.49 <sup>a</sup>	110.03±5.81 <sup>a</sup>	106.90±8.29 <sup>a</sup>
2	111.30±2.96 <sup>a</sup>	131.12±8.32 <sup>a</sup>	156.79±4.88 <sup>a</sup>	162.00±2.89 <sup>a</sup>	158.46±5.44 <sup>a</sup>	160.96±3.80 <sup>a</sup>	135.51±10.13 <sup>a</sup>	138.84±7.55 <sup>a</sup>	159.50±2.82 <sup>a</sup>
3	126.12±7.67 <sup>a</sup>	139.89±8.48 <sup>a</sup>	149.90±7.99 <sup>a</sup>	138.22±3.91 <sup>a</sup>	159.92±18.36 <sup>a</sup>	143.22±8.61 <sup>a</sup>	138.63±2.76 <sup>a</sup>	130.91±0.42 <sup>a</sup>	132.79±3.71 <sup>a</sup>
4	132.79±5.41 <sup>a</sup>	155.95±6.83 <sup>a</sup>	169.72±11.74 <sup>a</sup>	176.82±13.12 <sup>a</sup>	186.62±22.10 <sup>a</sup>	149.90±13.58 <sup>a</sup>	153.24±19.45 <sup>a</sup>	136.76±12.49 <sup>a</sup>	149.07±13.36 <sup>a</sup>
5	167.22±16.29 <sup>a</sup>	175.77±4.17 <sup>a</sup>	177.44±11.43 <sup>a</sup>	175.56±8.16 <sup>a</sup>	158.87±13.85 <sup>a</sup>	173.48±12.88 <sup>a</sup>	149.9±7.85 <sup>a</sup>	135.51±7.53 <sup>a</sup>	144.69±5.60 <sup>a</sup>
6	121.94±17.82 <sup>a</sup>	104.42±8.87 <sup>a</sup>	158.25±13.64 <sup>a</sup>	140.51±7.24 <sup>a</sup>	145.73±10.42 <sup>a</sup>	143.02±4.58 <sup>a</sup>	142.6±25.09 <sup>a</sup>	145.10±9.72 <sup>a</sup>	133.21±16.47 <sup>a</sup>
7	128.41±9.63 <sup>a</sup>	123.82±13.46 <sup>a</sup>	140.72±9.98 <sup>a</sup>	132.58±12.52 <sup>a</sup>	130.29±3.36 <sup>a</sup>	120.48±5.74 <sup>a</sup>	129.66±10.09 <sup>a</sup>	114.22±16.29 <sup>a</sup>	116.94±7.38 <sup>a</sup>
8	132.17±7.79 <sup>a</sup>	106.09±5.42 <sup>a</sup>	153.03±3.71 <sup>a</sup>	121.32±4.89 <sup>a</sup>	112.97±4.81 <sup>a</sup>	95.45±5.29 <sup>a</sup>	137.38±12.95 <sup>a</sup>	113.81±4.26 <sup>a</sup>	106.92±5.97 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

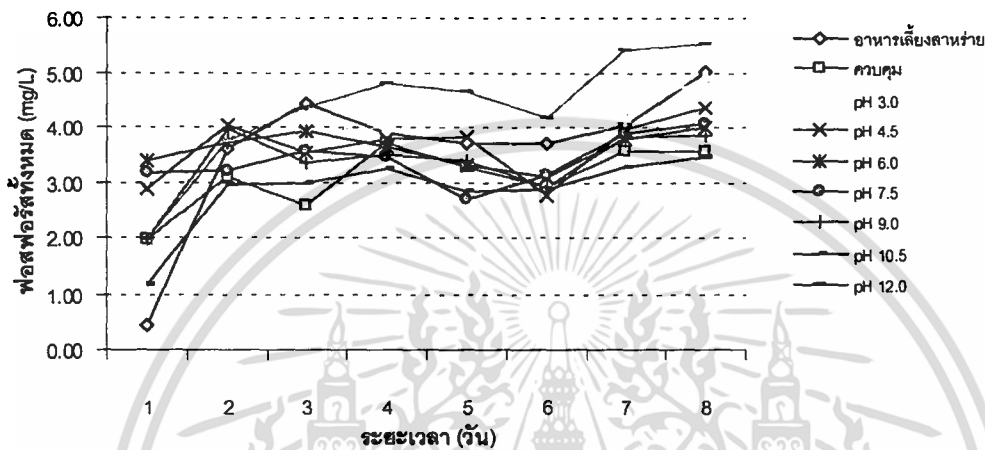
เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	1.70±0.13 <sup>a</sup>	0.47±0.17 <sup>ab</sup>	1.67±0.10 <sup>a</sup>	1.24±0.29 <sup>ab</sup>	0.91±0.05 <sup>ab</sup>	0.93±0.21 <sup>ab</sup>	0.46±0.23 <sup>ab</sup>	0.01±0.01 <sup>b</sup>	0.73±0.46 <sup>ab</sup>
2	3.23±0.07 <sup>a</sup>	1.18±0.32 <sup>ab</sup>	2.87±0.35 <sup>ab</sup>	2.54±0.43 <sup>ab</sup>	1.56±0.30 <sup>ab</sup>	1.63±0.31 <sup>ab</sup>	1.40±0.30 <sup>ab</sup>	1.05±0.52 <sup>b</sup>	2.57±0.19 <sup>ab</sup>
3	3.46±0.07 <sup>a</sup>	0.57±0.25 <sup>b</sup>	3.06±0.11 <sup>bc</sup>	2.59±0.59 <sup>abcd</sup>	1.13±0.32 <sup>bcd</sup>	1.10±0.23 <sup>bcd</sup>	0.83±0.42 <sup>bd</sup>	1.09±0.32 <sup>bcd</sup>	2.89±0.15 <sup>bc</sup>
4	2.95±0.05 <sup>abc</sup>	0.44±0.09 <sup>a</sup>	3.06±0.17 <sup>bc</sup>	2.47±0.52 <sup>abc</sup>	0.77±0.43 <sup>ab</sup>	0.78±0.25 <sup>ab</sup>	0.48±0.22 <sup>a</sup>	1.00±0.19 <sup>abc</sup>	3.39±0.91 <sup>c</sup>
5	3.12±0.10 <sup>bc</sup>	0.74±0.16 <sup>b</sup>	3.31±0.22 <sup>bc</sup>	2.62±0.38 <sup>abc</sup>	0.76±0.28 <sup>b</sup>	0.89±0.16 <sup>b</sup>	0.57±0.14 <sup>b</sup>	1.38±0.56 <sup>ab</sup>	3.96±0.66 <sup>c</sup>
6	2.88±0.11 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	3.11±0.22 <sup>a</sup>	2.33±0.31 <sup>a</sup>	0.24±0.15 <sup>b</sup>	0.11±0.11 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.56±0.28 <sup>b</sup>	3.64±0.63 <sup>a</sup>
7	2.86±0.06 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	3.25±0.21 <sup>a</sup>	2.35±0.29 <sup>bc</sup>	0.24±0.15 <sup>b</sup>	0.24±0.09 <sup>b</sup>	0.15±0.12 <sup>b</sup>	0.77±0.31 <sup>bc</sup>	3.83±0.71 <sup>a</sup>
8	3.04±0.11 <sup>a</sup>	0.44±0.11 <sup>bc</sup>	3.29±0.20 <sup>a</sup>	2.25±0.35 <sup>bc</sup>	0.14±0.08 <sup>b</sup>	0.12±0.02 <sup>b</sup>	0.09±0.03 <sup>b</sup>	0.66±0.30 <sup>bc</sup>	3.93±0.68 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

### 1.12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate ;TP)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.43 \pm 0.05$  ถึง  $5.53 \pm 0.58$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 17 และตารางที่ 13)

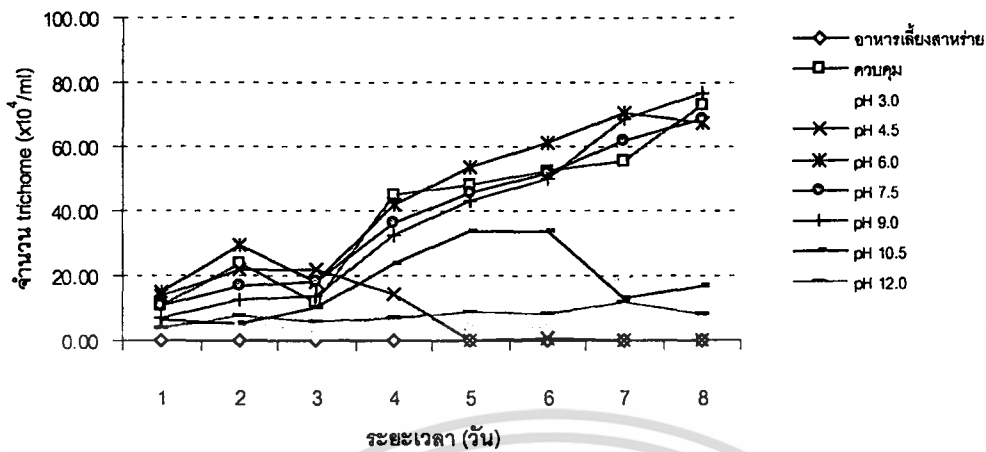


ภาพที่ 17 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria sp.* ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 2. จำนวน trichome

จำนวน trichome เริ่มต้นการทดลองที่ยังไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกชุดการทดลอง (ยกเว้นอาหารเลี้ยงสาหร่าย) มีค่าเฉลี่ย  $4 \times 10^4$  ต่อมิลลิลิตร ชุดการทดลองที่มีค่าสูงใกล้เคียงกันได้แก่ ชุดควบคุม, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0, 7.5 และ 9.0 ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 9.0 จะมีจำนวนมากที่สุดเฉลี่ย  $7.7 \pm 0.1$  ( $\times 10^5$  ต่อมิลลิลิตร) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 18 และตารางที่ 14)

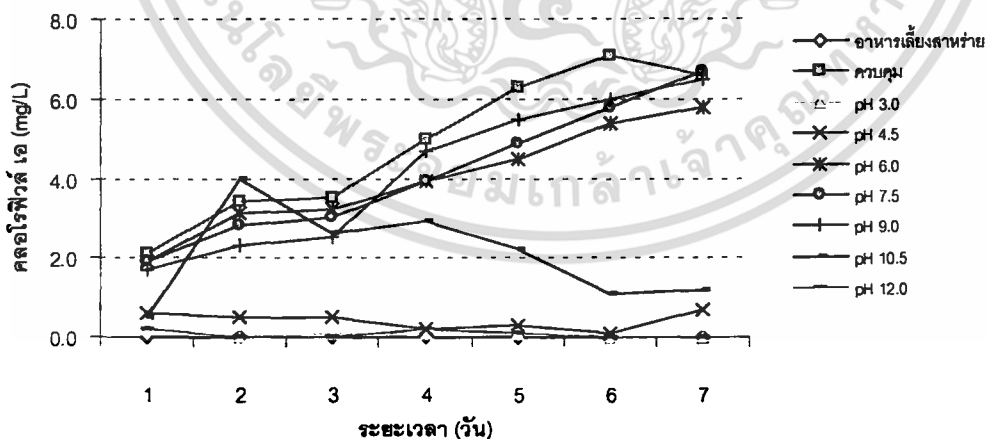
จากการทดลองพบว่าความเป็นกรด-ด่างที่ 9.0 และ 10.5 สาหร่าย *Oscillatoria sp.* มีแนวโน้มรวมกลุ่มกันเป็นกระจุกอยู่ที่ก้นภาชนะ และความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 และ 4.5 เส้นสายของสาหร่ายจะหักเป็นท่อนซึ่งเกิดจากการปรับสภาพต่อสารที่ใส่เข้าไป



ภาพที่ 18 จำนวน trichome (x10<sup>4</sup> ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

### 3. คลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.0±0.0 ถึง 7.1±1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่มีค่าสูงใกล้เคียงกันได้แก่ ชุดควบคุม, ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0, 7.5 และ 9.0 ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับจำนวน trichome ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุดคือ ชุดควบคุมในช่วงวันที่ 6 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าช่วงวันที่ 1 และวันที่ 2 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) (ภาพที่ 19 และตารางที่ 15)



ภาพที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.43±0.05 <sup>a</sup>	1.97±0.62 <sup>a</sup>	2.95±0.32 <sup>a</sup>	2.88±0.78 <sup>a</sup>	3.37±0.17 <sup>a</sup>	3.17±0.14 <sup>a</sup>	1.97±0.18 <sup>a</sup>	1.17±0.47 <sup>a</sup>	1.96±0.21 <sup>a</sup>
2	3.61±0.84 <sup>a</sup>	3.08±0.44 <sup>a</sup>	4.50±0.14 <sup>a</sup>	4.04±0.08 <sup>a</sup>	3.70±0.12 <sup>a</sup>	3.21±0.26 <sup>a</sup>	3.96±0.56 <sup>a</sup>	2.94±0.74 <sup>a</sup>	3.75±0.18 <sup>a</sup>
3	4.43±0.11 <sup>a</sup>	2.60±1.19 <sup>a</sup>	3.91±0.14 <sup>a</sup>	3.51±0.28 <sup>a</sup>	3.91±0.19 <sup>a</sup>	3.55±0.16 <sup>a</sup>	3.36±0.33 <sup>a</sup>	2.98±0.35 <sup>a</sup>	4.35±0.24 <sup>a</sup>
4	3.88±0.12 <sup>a</sup>	3.7±0.64 <sup>a</sup>	3.99±0.04 <sup>a</sup>	3.77±0.41 <sup>a</sup>	3.63±0.12 <sup>a</sup>	3.44±0.10 <sup>a</sup>	3.50±0.22 <sup>a</sup>	3.25±0.20 <sup>a</sup>	4.81±0.74 <sup>a</sup>
5	3.72±0.15 <sup>a</sup>	3.28±0.03 <sup>a</sup>	4.45±0.13 <sup>a</sup>	3.81±0.29 <sup>a</sup>	3.29±0.28 <sup>a</sup>	2.69±0.33 <sup>a</sup>	3.39±0.22 <sup>a</sup>	2.82±0.14 <sup>a</sup>	4.65±0.16 <sup>a</sup>
6	3.71±0.10 <sup>a</sup>	2.91±0.27 <sup>a</sup>	3.11±0.18 <sup>a</sup>	2.75±0.23 <sup>a</sup>	3.1±0.10 <sup>a</sup>	3.13±0.21 <sup>a</sup>	2.91±0.45 <sup>a</sup>	2.88±0.60 <sup>a</sup>	4.18±0.17 <sup>a</sup>
7	4.03±0.11 <sup>a</sup>	3.57±0.47 <sup>a</sup>	4.20±0.40 <sup>a</sup>	3.97±0.41 <sup>a</sup>	3.8±0.25 <sup>a</sup>	3.89±0.04 <sup>a</sup>	3.8±0.43 <sup>a</sup>	3.27±0.35 <sup>a</sup>	5.42±0.76 <sup>a</sup>
8	5.02±0.16 <sup>a</sup>	3.56±0.45 <sup>a</sup>	4.94±0.34 <sup>a</sup>	4.35±0.14 <sup>a</sup>	4.00±0.18 <sup>a</sup>	4.06±0.10 <sup>a</sup>	3.86±0.56 <sup>a</sup>	3.44±0.65 <sup>a</sup>	5.53±0.58 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 14 จำนวน trichome ( $\times 10^4$  ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.00±0.00 <sup>a</sup>	10.33±0.33 <sup>b</sup>	4.66±0.33 <sup>c</sup>	14.00±0.00 <sup>de</sup>	15.00±0.00 <sup>e</sup>	10.66±0.33 <sup>bd</sup>	6.66±1.45 <sup>c</sup>	6.33±0.33 <sup>c</sup>	4.00±0.58 <sup>c</sup>
2	0.00±0.00 <sup>a</sup>	23.66±0.88 <sup>bc</sup>	5.66±0.88 <sup>ab</sup>	21.66±0.33 <sup>bc</sup>	29.66±0.88 <sup>c</sup>	16.66±0.88 <sup>bd</sup>	12.33±3.48 <sup>de</sup>	5.00±1.00 <sup>ab</sup>	7.33±0.67 <sup>ab</sup>
3	0.00±0.00 <sup>a</sup>	12.00±0.00 <sup>d</sup>	2.66±0.88 <sup>ab</sup>	21.66±0.88 <sup>f</sup>	18.00±0.00 <sup>ef</sup>	18.33±1.20 <sup>ef</sup>	13.66±1.20 <sup>de</sup>	10.00±0.58 <sup>cd</sup>	5.66±0.33 <sup>bc</sup>
4	0.00±0.00 <sup>a</sup>	45.00±1.76 <sup>b</sup>	7.66±0.17 <sup>ab</sup>	14.50±14.00 <sup>ab</sup>	41.83±6.52 <sup>b</sup>	36.50±3.18 <sup>ab</sup>	32.50±11.27 <sup>ab</sup>	23.83±1.86 <sup>ab</sup>	6.83±1.42 <sup>ab</sup>
5	0.00±0.00 <sup>a</sup>	48.00±8.13 <sup>c</sup>	5.00±1.00 <sup>a</sup>	0.16±0.17 <sup>a</sup>	53.66±11.69 <sup>c</sup>	45.33±4.85 <sup>c</sup>	43.16±6.69 <sup>bc</sup>	33.50±3.01 <sup>abc</sup>	8.50±1.50 <sup>ab</sup>
6	0.00±0.00 <sup>a</sup>	52.33±5.78 <sup>b</sup>	4.00±1.32 <sup>a</sup>	0.33±0.17 <sup>a</sup>	61.33±10.22 <sup>b</sup>	51.66±4.21 <sup>b</sup>	50.00±3.33 <sup>b</sup>	34.00±12.45 <sup>ab</sup>	8.33±1.09 <sup>a</sup>
7	0.00±0.00 <sup>a</sup>	55.50±17.32 <sup>bc</sup>	20.83±11.63 <sup>abc</sup>	0.16±0.17 <sup>a</sup>	70.50±5.77 <sup>c</sup>	61.66±2.62 <sup>bc</sup>	69.00±6.53 <sup>c</sup>	13.00±8.05 <sup>ab</sup>	11.83±1.64 <sup>ab</sup>
8	0.00±0.00 <sup>a</sup>	73.16±10.99 <sup>b</sup>	8.00±5.51 <sup>a</sup>	0.16±0.17 <sup>a</sup>	67.66±12.02 <sup>b</sup>	68.66±3.66 <sup>b</sup>	77.16±1.33 <sup>b</sup>	16.66±14.43 <sup>a</sup>	8.00±0.58 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

ตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับ pH ต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ควบคุม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)						
			3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
1	0.0±0.0 <sup>a</sup>	2.1±0.2 <sup>a</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.6±0.4 <sup>a</sup>	1.9±0.2 <sup>a</sup>	1.9±0.1 <sup>a</sup>	1.7±0.7 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>a</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>
2	0.0±0.0 <sup>a</sup>	3.4±0.7 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.5±0.5 <sup>a</sup>	3.1±0.6 <sup>b</sup>	2.8±0.4 <sup>a</sup>	2.3±0.8 <sup>a</sup>	4.0±1.5 <sup>b</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>
3	0.0±0.0 <sup>a</sup>	3.5±0.7 <sup>b</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>	0.5±0.4 <sup>ab</sup>	3.2±0.5 <sup>ab</sup>	3.0±0.4 <sup>ab</sup>	2.5±1.0 <sup>ab</sup>	2.6±0.8 <sup>ab</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>
4	0.0±0.0 <sup>a</sup>	5.0±1.3 <sup>b</sup>	0.1±0.1 <sup>a</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	3.9±0.6 <sup>b</sup>	3.9±0.4 <sup>b</sup>	4.7±0.6 <sup>b</sup>	2.9±0.4 <sup>ab</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>
5	0.0±0.0 <sup>a</sup>	6.3±1.5 <sup>b</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.3±0.2 <sup>bc</sup>	4.5±0.7 <sup>bc</sup>	4.9±0.7 <sup>b</sup>	5.5±0.8 <sup>b</sup>	2.2±0.3 <sup>abc</sup>	0.1±0.1 <sup>a</sup>
6	0.0±0.0 <sup>a</sup>	7.1±1.9 <sup>b</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.1±0.1 <sup>a</sup>	5.4±1.0 <sup>bc</sup>	5.8±0.6 <sup>bc</sup>	6.0±0.7 <sup>bc</sup>	1.1±0.5 <sup>bc</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>
7	0.0±0.0 <sup>a</sup>	6.6±0.9 <sup>b</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.7±0.4 <sup>a</sup>	5.8±1.1 <sup>bc</sup>	6.7±0.8 <sup>b</sup>	6.5±0.9 <sup>b</sup>	1.2±1.1 <sup>bc</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

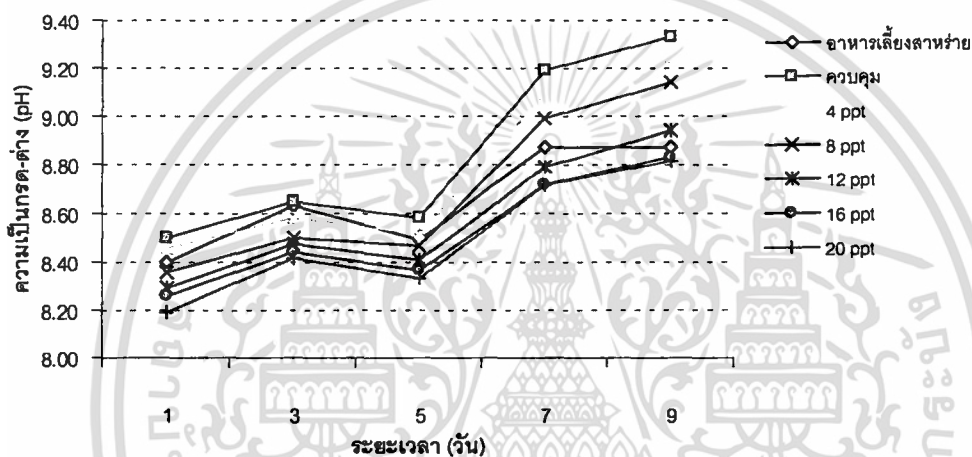
## การทดลองที่ 2

เลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 7 ทริทเมนต์ แต่ละทริทเมนต์มี 3 ซ้ำ พบว่า

### 1. คุณภาพน้ำ

#### 1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

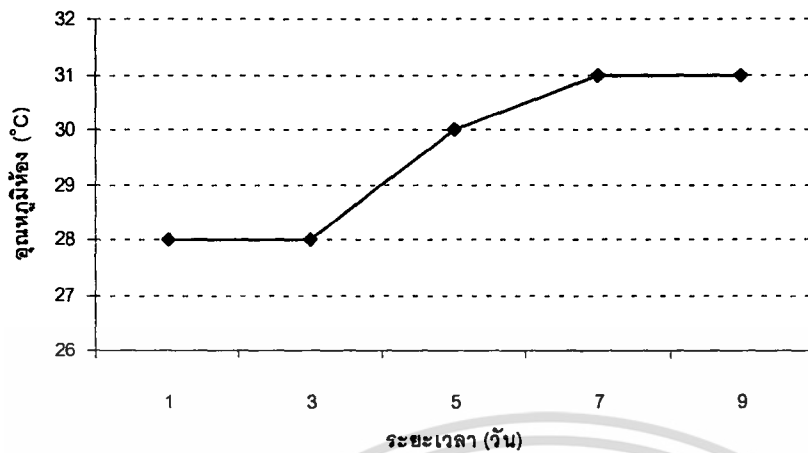
ความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $8.19 \pm 0.01$  ถึง  $9.33 \pm 0.09$  เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าทุกชุดการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 20 และตารางที่ 16)



ภาพที่ 20 ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

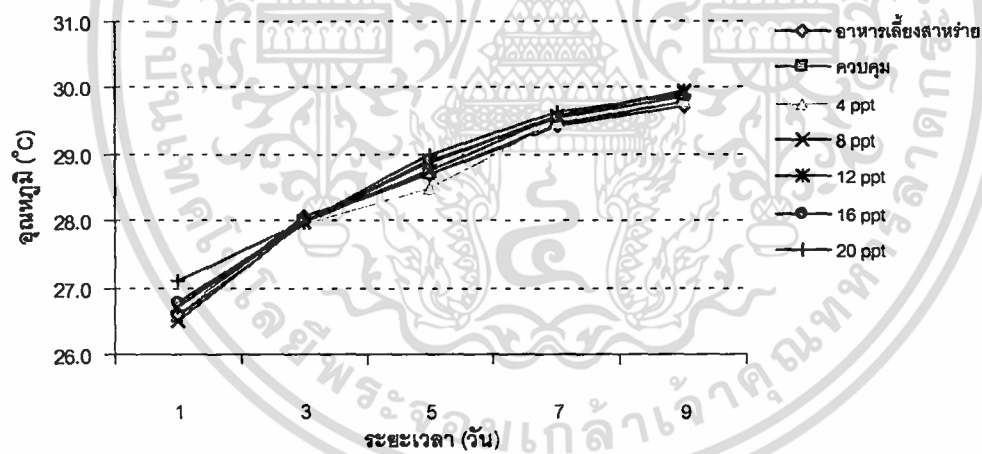
#### 1.2 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิห้องตลอดการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง  $28.0 \pm 0.3$  ถึง  $31.0 \pm 0.4$  องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 21 และตารางที่ 17)



ภาพที่ 21 อุณหภูมิห้อง(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $26.5 \pm 0.0$  ถึง  $29.9 \pm 0.1$  องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 22 และตารางที่ 18)

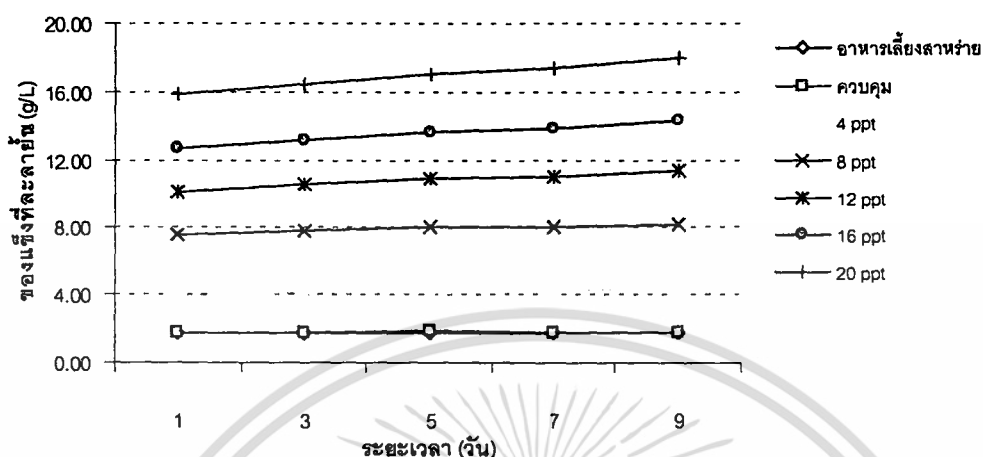


ภาพที่ 22 อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total dissolved solids ;TDS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $1.73 \pm 0.01$  ถึง  $17.97 \pm 0.38$  กรัมต่อลิตร ทุกชุดการทดลองพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน มีความสัมพันธ์กับ

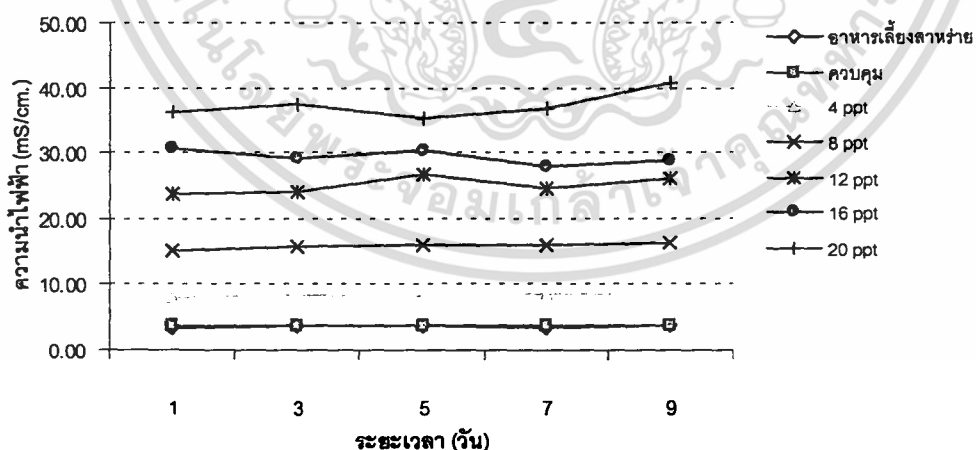
ความเค็มโดยถ้าความเค็มเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำจะเพิ่มตาม จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) (ภาพที่ 23 และตารางที่ 19)



ภาพที่ 23 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

#### 1.4 ความนำไฟฟ้า (conductivity)

ความนำไฟฟ้าตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $3.47 \pm 0.03$  ถึง  $40.93 \pm 1.34$  mS/cm ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) (ภาพที่ 24 และตารางที่ 20)



ภาพที่ 24 ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

ตารางที่ 16 ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม (ppt)					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	8.39±0.01 <sup>a</sup>	8.49±0.01 <sup>b</sup>	8.46±0.01 <sup>b</sup>	8.36±0.01 <sup>a</sup>	8.29±0.00 <sup>c</sup>	8.26±0.00 <sup>c</sup>	8.19±0.01 <sup>d</sup>
3	8.63±0.01 <sup>a</sup>	8.65±0.00 <sup>a</sup>	8.58±0.01 <sup>b</sup>	8.50±0.01 <sup>c</sup>	8.47±0.00 <sup>d</sup>	8.44±0.01 <sup>e</sup>	8.41±0.00 <sup>e</sup>
5	8.49±0.02 <sup>bc</sup>	8.58±0.02 <sup>b</sup>	8.52±0.03 <sup>bc</sup>	8.46±0.01 <sup>bc</sup>	8.40±0.00 <sup>cd</sup>	8.36±0.00 <sup>d</sup>	8.33±0.00 <sup>d</sup>
7	8.87±0.01 <sup>cd</sup>	9.19±0.03 <sup>b</sup>	9.09±0.02 <sup>bc</sup>	8.99±0.04 <sup>cd</sup>	8.79±0.03 <sup>de</sup>	8.71±0.02 <sup>e</sup>	8.72±0.01 <sup>ee</sup>
9	8.87±0.01 <sup>a</sup>	9.33±0.09 <sup>b</sup>	9.25±0.08 <sup>bc</sup>	9.14±0.08 <sup>abc</sup>	8.94±0.05 <sup>bc</sup>	8.83±0.04 <sup>a</sup>	8.82±0.04 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 17 อุณหภูมิห้อง(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	เวลา 12.00 น.	อุณหภูมิห้อง (°C)	
		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	28.0±0.3 <sup>a</sup>	30.0±0.1 <sup>a</sup>	28.0±0.1 <sup>a</sup>
3	28.0±0.2 <sup>a</sup>	30.0±0.2 <sup>a</sup>	28.0±0.1 <sup>a</sup>
5	30.0±0.3 <sup>a</sup>	30.0±0.2 <sup>a</sup>	29.5±0.2 <sup>a</sup>
7	31.0±0.4 <sup>a</sup>	31.5±0.1 <sup>a</sup>	30.0±0.0 <sup>a</sup>
9	31.0±0.1 <sup>a</sup>	31.5±0.2 <sup>a</sup>	30.0±0.0 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 18 อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	ความเค็ม ( ppt )						
	อาหาร	ควบคุม ( 0 )	4	8	12	16	20
1	26.6±0.0 <sup>a</sup>	26.5±0.0 <sup>a</sup>	26.6±0.1 <sup>a</sup>	26.5±0.0 <sup>a</sup>	26.7±0.1 <sup>a</sup>	26.7±0.0 <sup>a</sup>	27.1±0.0 <sup>a</sup>
3	28.0±0.1 <sup>a</sup>	28.0±0.0 <sup>a</sup>	27.9±0.0 <sup>a</sup>	27.9±0.0 <sup>a</sup>	27.9±0.1 <sup>a</sup>	27.9±0.1 <sup>a</sup>	27.9±0.0 <sup>a</sup>
5	28.7±0.1 <sup>a</sup>	28.7±0.1 <sup>a</sup>	28.5±0.2 <sup>a</sup>	28.7±0.1 <sup>a</sup>	28.8±0.1 <sup>a</sup>	28.9±0.1 <sup>a</sup>	29.0±0.1 <sup>a</sup>
7	29.4±0.1 <sup>a</sup>	29.4±0.1 <sup>a</sup>	29.4±0.0 <sup>a</sup>	29.5±0.1 <sup>a</sup>	29.5±0.1 <sup>a</sup>	29.5±0.0 <sup>a</sup>	29.6±0.1 <sup>a</sup>
9	29.7±0.1 <sup>a</sup>	29.7±0.1 <sup>a</sup>	29.8±0.1 <sup>a</sup>	29.9±0.0 <sup>a</sup>	29.9±0.1 <sup>a</sup>	29.8±0.0 <sup>a</sup>	29.9±0.1 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	ความเค็ม ( ppt )						
	อาหาร	ควบคุม ( 0 )	4	8	12	16	20
1	1.73±0.01 <sup>a</sup>	1.81±0.01 <sup>a</sup>	3.92±0.03 <sup>b</sup>	7.54±0.02 <sup>c</sup>	10.08±0.03 <sup>d</sup>	12.64±0.03 <sup>e</sup>	15.82±0.04 <sup>f</sup>
3	1.79±0.01 <sup>a</sup>	1.83±0.01 <sup>a</sup>	4.11±0.02 <sup>b</sup>	7.80±0.03 <sup>c</sup>	10.52±0.07 <sup>d</sup>	13.13±0.04 <sup>e</sup>	16.48±0.09 <sup>f</sup>
5	1.78±0.02 <sup>a</sup>	1.84±0.01 <sup>a</sup>	4.22±0.04 <sup>b</sup>	7.99±0.05 <sup>c</sup>	10.84±0.15 <sup>d</sup>	13.57±0.09 <sup>e</sup>	17.02±0.16 <sup>f</sup>
7	1.76±0.01 <sup>a</sup>	1.81±0.00 <sup>a</sup>	4.25±0.06 <sup>b</sup>	8.04±0.08 <sup>c</sup>	11.00±0.22 <sup>d</sup>	13.82±0.07 <sup>e</sup>	17.38±0.29 <sup>f</sup>
9	1.77±0.01 <sup>a</sup>	1.79±0.01 <sup>a</sup>	4.33±0.06 <sup>b</sup>	8.18±0.11 <sup>c</sup>	11.32±0.30 <sup>d</sup>	14.28±0.11 <sup>e</sup>	17.97±0.38 <sup>f</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 20 ความนำไฟฟ้า(mS/cm) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	3.47±0.03 <sup>a</sup>	3.62±0.02 <sup>a</sup>	7.83±0.05 <sup>b</sup>	15.06±0.04 <sup>c</sup>	23.66±0.70 <sup>d</sup>	30.73±0.67 <sup>e</sup>	36.06±1.53 <sup>f</sup>
3	3.58±0.02 <sup>a</sup>	3.66±0.01 <sup>a</sup>	8.20±0.04 <sup>b</sup>	15.59±0.05 <sup>c</sup>	24.00±0.80 <sup>d</sup>	29.20±0.61 <sup>e</sup>	37.40±1.63 <sup>f</sup>
5	3.56±0.03 <sup>a</sup>	3.67±0.01 <sup>a</sup>	8.42±0.07 <sup>b</sup>	15.96±0.10 <sup>c</sup>	26.80±0.12 <sup>d</sup>	30.26±1.04 <sup>d</sup>	35.40±1.22 <sup>e</sup>
7	3.51±0.02 <sup>a</sup>	3.61±0.00 <sup>a</sup>	8.48±0.11 <sup>a</sup>	16.05±0.17 <sup>b</sup>	24.46±1.41 <sup>c</sup>	28.06±1.68 <sup>c</sup>	36.73±0.98 <sup>d</sup>
9	3.53±0.02 <sup>a</sup>	3.58±0.01 <sup>a</sup>	8.66±0.10 <sup>b</sup>	16.34±0.22 <sup>c</sup>	26.20±0.61 <sup>d</sup>	28.73±1.58 <sup>d</sup>	40.93±1.34 <sup>e</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

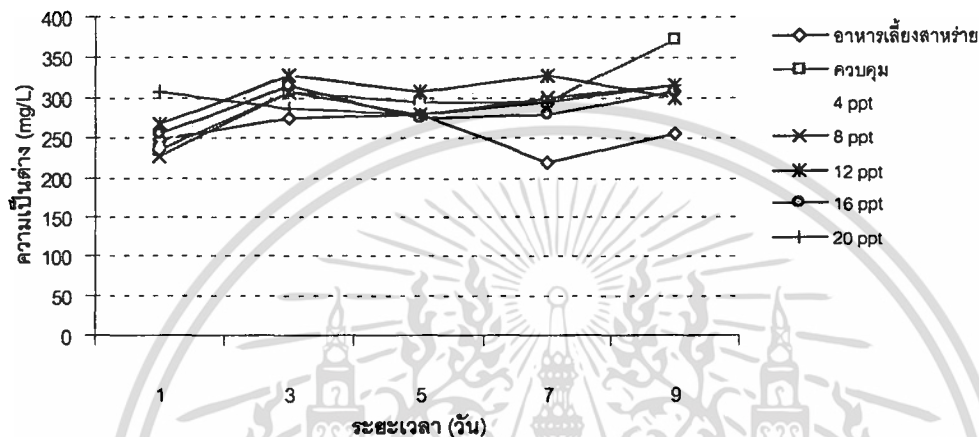
ตารางที่ 21 ความเป็นต่าง(มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	246±18 <sup>a</sup>	233±7 <sup>a</sup>	240±12 <sup>a</sup>	226±7 <sup>a</sup>	266±13 <sup>a</sup>	253±18 <sup>a</sup>	306±7 <sup>a</sup>
3	273±29 <sup>a</sup>	306±13 <sup>a</sup>	333±24 <sup>a</sup>	306±44 <sup>a</sup>	326±18 <sup>a</sup>	313±18 <sup>a</sup>	286±29 <sup>a</sup>
5	280±0 <sup>a</sup>	293±13 <sup>a</sup>	293±7 <sup>a</sup>	280±12 <sup>a</sup>	306±18 <sup>a</sup>	273±7 <sup>a</sup>	280±12 <sup>a</sup>
7	220±12 <sup>a</sup>	293±7 <sup>a</sup>	320±12 <sup>a</sup>	300±0 <sup>a</sup>	326±7 <sup>a</sup>	280±20 <sup>a</sup>	293±13 <sup>a</sup>
9	253±18 <sup>a</sup>	373±47 <sup>a</sup>	306±18 <sup>a</sup>	313±13 <sup>a</sup>	300±23 <sup>a</sup>	306±7 <sup>a</sup>	313±13 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

### 1.5 ความเป็นด่าง (alkalinity)

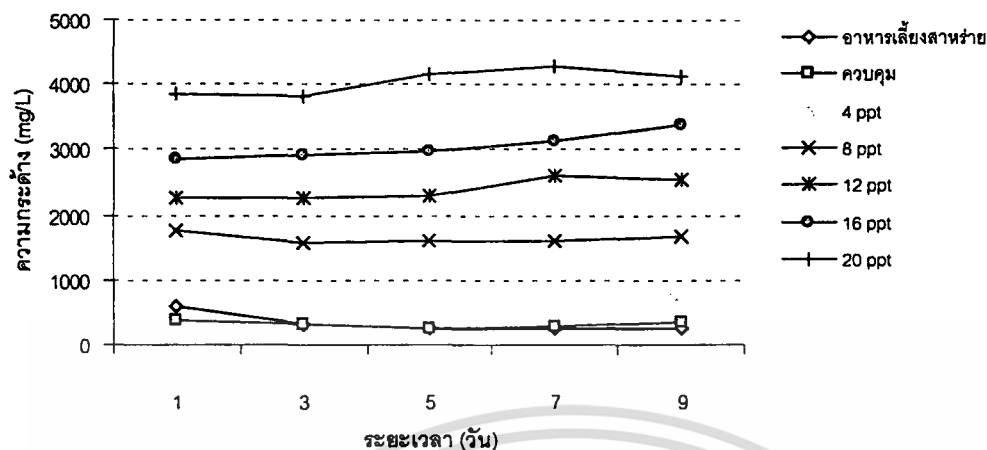
ความเป็นด่างตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $220 \pm 12$  ถึง  $373 \pm 47$  มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง ยกเว้นชุดควบคุมซึ่งมีค่าสูงต่างจากกลุ่มในวันที่ 9 และอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่มีค่าต่ำสุด จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 25 และตารางที่ 21)



ภาพที่ 25 ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 1.6 ความกระด้าง (hardness)

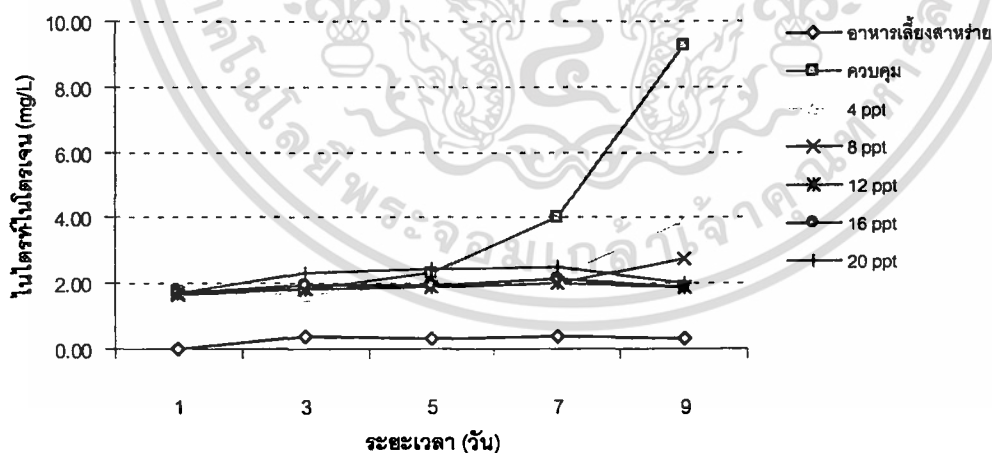
ความกระด้างตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $240 \pm 40$  ถึง  $4280 \pm 23$  มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเค็ม และระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะค่อนข้างคงที่ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 26 และตารางที่ 22)



ภาพที่ 26 ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 1.7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $9.24 \pm 1.09$  มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นชุดควบคุมจะมีค่าสูงแตกต่างจากกลุ่ม ส่วนความเค็ม 4ppt, 8ppt, 12ppt, 16ppt และ 20ppt จะเกาะกลุ่มกัน ค่าที่น้อยสุดคืออาหารเลี้ยงสาหร่าย จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 27 และตารางที่ 23)



ภาพที่ 27 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

ตารางที่ 22 ความกระด้าง(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม ( 0 )	4	8	12	16	20
1	586±13 <sup>ab</sup>	360±46 <sup>a</sup>	826±27 <sup>b</sup>	1773±35 <sup>c</sup>	2253±71 <sup>d</sup>	2853±35 <sup>e</sup>	3853±127 <sup>f</sup>
3	320±40 <sup>a</sup>	320±0 <sup>a</sup>	733±48 <sup>b</sup>	1586±35 <sup>c</sup>	2253±27 <sup>d</sup>	2933±13 <sup>e</sup>	3813±35 <sup>f</sup>
5	253±27 <sup>a</sup>	240±40 <sup>a</sup>	746±13 <sup>b</sup>	1600±0 <sup>c</sup>	2293±13 <sup>d</sup>	2966±33 <sup>e</sup>	4160±83 <sup>f</sup>
7	253±13 <sup>a</sup>	266±13 <sup>a</sup>	760±23 <sup>b</sup>	1613±27 <sup>c</sup>	2600±120 <sup>d</sup>	3146±96 <sup>e</sup>	4280±23 <sup>f</sup>
9	253±35 <sup>a</sup>	346±35 <sup>a</sup>	773±58 <sup>ab</sup>	1680±23 <sup>bc</sup>	2533±104 <sup>cd</sup>	3386±420 <sup>de</sup>	4120±139 <sup>e</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 23 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

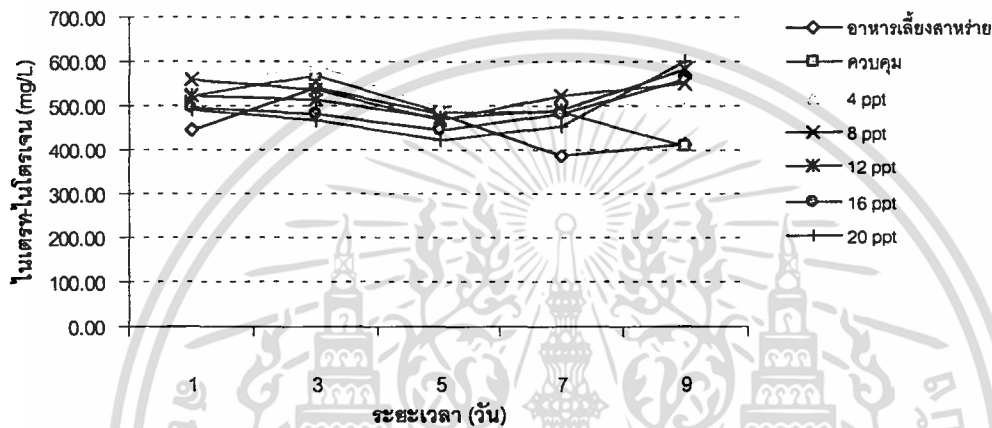
เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม ( 0 )	4	8	12	16	20
1	0.00±0.00 <sup>a</sup>	1.74±0.02 <sup>b</sup>	1.71±0.04 <sup>b</sup>	1.67±0.05 <sup>b</sup>	1.68±0.02 <sup>b</sup>	1.68±0.00 <sup>b</sup>	1.69±0.01 <sup>b</sup>
3	0.33±0.02 <sup>a</sup>	1.82±0.02 <sup>bc</sup>	1.67±0.03 <sup>b</sup>	1.81±0.01 <sup>bc</sup>	1.82±0.04 <sup>bc</sup>	1.94±0.03 <sup>c</sup>	2.34±0.05 <sup>d</sup>
5	0.32±0.04 <sup>a</sup>	2.32±0.12 <sup>cd</sup>	1.97±0.06 <sup>bc</sup>	1.88±0.08 <sup>b</sup>	1.89±0.04 <sup>b</sup>	1.92±0.01 <sup>b</sup>	2.42±0.04 <sup>d</sup>
7	0.39±0.03 <sup>a</sup>	4.04±0.49 <sup>c</sup>	2.19±0.11 <sup>b</sup>	2.02±0.01 <sup>b</sup>	2.03±0.04 <sup>b</sup>	2.12±0.07 <sup>b</sup>	2.48±0.05 <sup>b</sup>
9	0.29±0.01 <sup>a</sup>	9.24±1.09 <sup>c</sup>	3.90±0.37 <sup>b</sup>	2.71±0.14 <sup>ab</sup>	1.87±0.11 <sup>ab</sup>	1.89±0.10 <sup>ab</sup>	1.99±0.06 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

### 1.8 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

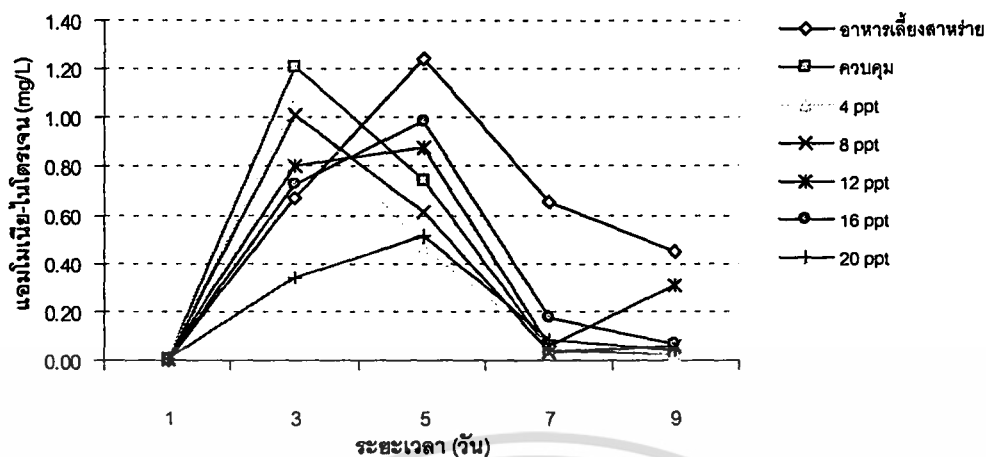
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $387.19 \pm 57.00$  ถึง  $600.34 \pm 15.51$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่าค่าที่ลดลงได้แก่ อาหารเลี้ยงสาหร่าย, ชุดควบคุม, ความเค็ม 4ppt และ 8ppt ส่วนค่าที่เพิ่มขึ้นได้แก่ ความเค็ม 12ppt, 16ppt และ 20ppt จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 28 และตารางที่ 24)



ภาพที่ 28 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 1.9 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

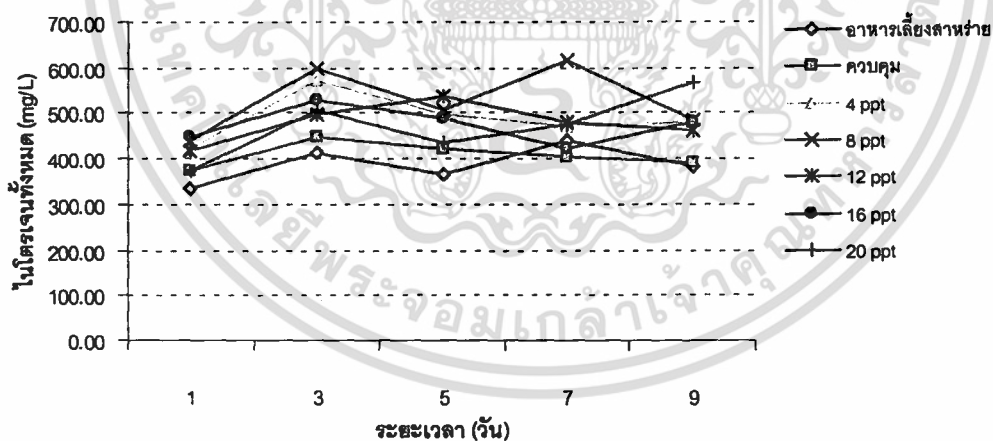
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $1.24 \pm 0.19$  มิลลิกรัมต่อลิตร จากวันเริ่มต้นพบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 5 และค่อยๆ ลดลงจนถึงวันที่ 9 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 29 และตารางที่ 25)



ภาพที่ 29 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

#### 1.10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen ;TN)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $335.59 \pm 7.52$  ถึง  $614.84 \pm 102.79$  มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 30 และตารางที่ 26)



ภาพที่ 30 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

ตารางที่ 24 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	445.86±65.13 <sup>a</sup>	521.61±23.87 <sup>a</sup>	542.51±18.28 <sup>a</sup>	560.43±23.83 <sup>a</sup>	521.66±21.65 <sup>a</sup>	497.08±35.40 <sup>a</sup>	492.59±62.26 <sup>a</sup>
3	541.64±48.90 <sup>a</sup>	567.73±11.85 <sup>a</sup>	590.24±6.86 <sup>a</sup>	537.94±19.36 <sup>a</sup>	515.57±25.99 <sup>a</sup>	480.42±19.12 <sup>a</sup>	470.34±12.18 <sup>a</sup>
5	483.53±13.52 <sup>a</sup>	488.24±9.89 <sup>a</sup>	494.56±5.43 <sup>a</sup>	466.32±16.81 <sup>a</sup>	473.77±0.04 <sup>a</sup>	445.42±5.39 <sup>a</sup>	424.06±3.85 <sup>a</sup>
7	387.19±57.00 <sup>a</sup>	485.03±0.49 <sup>a</sup>	512.22±3.03 <sup>a</sup>	521.33±43.91 <sup>a</sup>	493.01±15.73 <sup>a</sup>	480.24±17.99 <sup>a</sup>	455.29±12.91 <sup>a</sup>
9	413.52±51.14 <sup>a</sup>	407.99±73.39 <sup>a</sup>	494.11±2.62 <sup>a</sup>	548.95±14.51 <sup>a</sup>	582.58±7.37 <sup>a</sup>	557.23±22.05 <sup>a</sup>	600.34±15.51 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 25 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	0.00±0.00 <sup>a</sup>	0.00±0.01 <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	0.66±0.00 <sup>a</sup>	1.21±0.01 <sup>a</sup>	1.06±0.04 <sup>a</sup>	1.00±0.07 <sup>a</sup>	0.80±0.03 <sup>a</sup>	0.73±0.03 <sup>a</sup>	0.34±0.02 <sup>a</sup>
5	1.24±0.19 <sup>a</sup>	0.74±0.22 <sup>a</sup>	0.46±0.12 <sup>a</sup>	0.61±0.23 <sup>a</sup>	0.88±0.15 <sup>a</sup>	0.98±0.05 <sup>a</sup>	0.51±0.11 <sup>a</sup>
7	0.65±0.12 <sup>a</sup>	0.03±0.04 <sup>a</sup>	0.06±0.04 <sup>a</sup>	0.03±0.03 <sup>a</sup>	0.05±0.06 <sup>a</sup>	0.17±0.16 <sup>a</sup>	0.07±0.08 <sup>a</sup>
9	0.44±0.04 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.05 <sup>a</sup>	0.30±0.31 <sup>a</sup>	0.06±0.06 <sup>a</sup>	0.04±0.04 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 26 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0 )	4	8	12	16	20
1	335.59±7.52 <sup>a</sup>	372.10±31.42 <sup>a</sup>	423.21±11.62 <sup>a</sup>	441.99±17.83 <sup>a</sup>	416.96±2.09 <sup>a</sup>	448.25±10.43 <sup>a</sup>	373.66±49.60 <sup>a</sup>
3	414.137±21.39 <sup>a</sup>	448.35±36.87 <sup>a</sup>	574.16±16.20 <sup>a</sup>	598.15±57.05 <sup>a</sup>	499.05±26.33 <sup>a</sup>	530.34±17.36 <sup>a</sup>	508.44±9.27 <sup>a</sup>
5	365.31±5.06 <sup>a</sup>	423.31±18.19 <sup>a</sup>	495.92±18.28 <sup>a</sup>	508.02±38.64 <sup>a</sup>	536.60±13.56 <sup>a</sup>	486.95±15.98 <sup>a</sup>	437.29±30.19 <sup>a</sup>
7	438.33±20.46 <sup>a</sup>	404.12±33.12 <sup>a</sup>	471.09±22.24 <sup>a</sup>	614.84±102.79 <sup>a</sup>	481.31±11.48 <sup>a</sup>	423.31±14.64 <sup>a</sup>	477.14±28.59 <sup>a</sup>
9	383.67±14.75 <sup>a</sup>	389.93±28.05 <sup>a</sup>	480.27±13.68 <sup>a</sup>	483.40±2.76 <sup>a</sup>	461.28±25.26 <sup>a</sup>	479.02±21.50 <sup>a</sup>	567.90±113.51 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 27 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

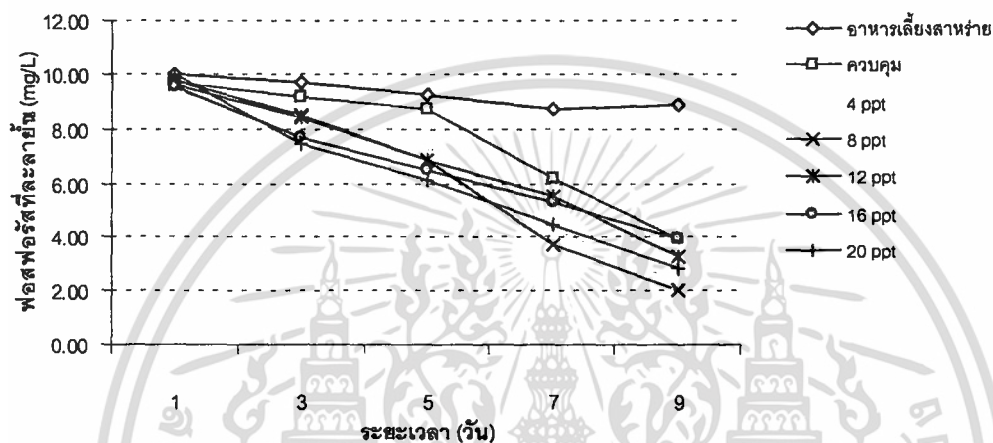
เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0 )	4	8	12	16	20
1	10.01±0.11 <sup>a</sup>	9.66±0.06 <sup>a</sup>	9.28±0.16 <sup>a</sup>	9.74±0.11 <sup>a</sup>	9.62±0.09 <sup>a</sup>	9.53±0.13 <sup>a</sup>	9.97±0.08 <sup>a</sup>
3	9.69±0.09 <sup>a</sup>	9.19±0.13 <sup>ab</sup>	8.72±0.13 <sup>b</sup>	8.49±0.10 <sup>bc</sup>	8.40±0.22 <sup>bc</sup>	7.70±0.08 <sup>cd</sup>	7.43±0.18 <sup>d</sup>
5	9.22±0.16 <sup>a</sup>	8.72±0.14 <sup>a</sup>	7.47±0.25 <sup>b</sup>	6.87±0.25 <sup>bc</sup>	6.88±0.16 <sup>bc</sup>	6.48±0.15 <sup>bc</sup>	6.07±0.05 <sup>c</sup>
7	8.75±0.08 <sup>a</sup>	6.20±0.33 <sup>b</sup>	4.33±0.32 <sup>cd</sup>	3.71±0.52 <sup>d</sup>	5.49±0.11 <sup>bc</sup>	5.25±0.18 <sup>bcd</sup>	4.44±0.10 <sup>cd</sup>
9	8.86±0.02 <sup>a</sup>	3.94±0.36 <sup>b</sup>	2.33±0.38 <sup>b</sup>	2.02±0.43 <sup>b</sup>	3.28±0.36 <sup>b</sup>	3.95±0.42 <sup>b</sup>	2.82±0.26 <sup>b</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

### 1.11 ออร์โธฟอสเฟต (soluble reactive phosphorus ;SRP)

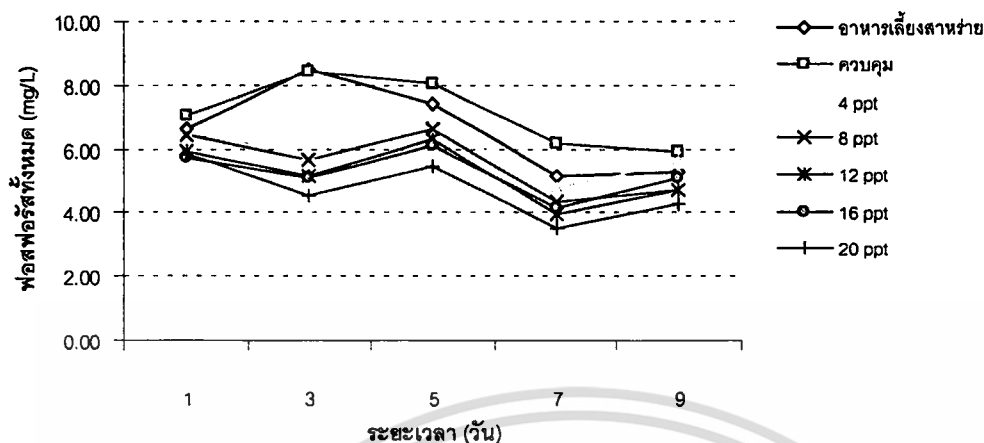
ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $2.02 \pm 0.43$  ถึง  $10.01 \pm 0.11$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่ามีการลดลงทุกชุดการทดลอง เฉพาะอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าช่วงวันที่ 1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่ช่วงวันที่ 3 ถึง 9 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 31 และตารางที่ 27)



ภาพที่ 31 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 1.12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate ;TP)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง  $3.52 \pm 0.23$  ถึง  $8.49 \pm 0.16$  มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าชุดควบคุมจะมีค่ามากที่สุด จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ภาพที่ 32 และตารางที่ 28)

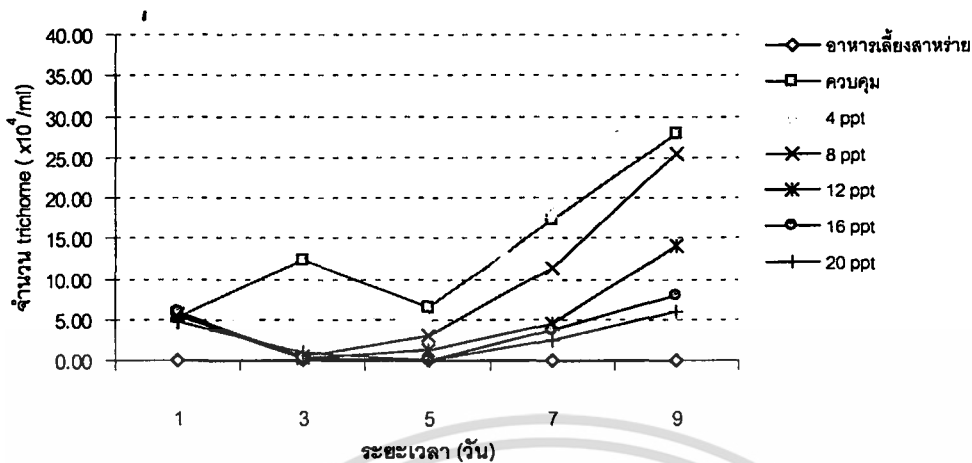


ภาพที่ 32 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

## 2. จำนวน trichome

จำนวน trichome เริ่มต้นการทดลองที่ยังไม่ปรับความเค็มของทุกชุดการทดลอง (ยกเว้นอาหารเลี้ยงสาหร่าย) มีค่าเฉลี่ย  $6 \times 10^4$  ต่อมิลลิลิตร หลังจากปรับความเค็มแล้วพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่ม ชุดควบคุมและความเค็ม 4ppt จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นโดยในวันสุดท้ายความเค็ม 4ppt จะมีความมากที่สุดเฉลี่ย  $3.7 \pm 0.4 (\times 10^5)$  ต่อมิลลิลิตร ส่วนความเค็ม 8ppt, 12ppt, 16ppt และ 20ppt หลังจากวันแรกจะมีค่าลดลงในวันที่ 3 และ 5 แล้วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 33 และตารางที่ 29)

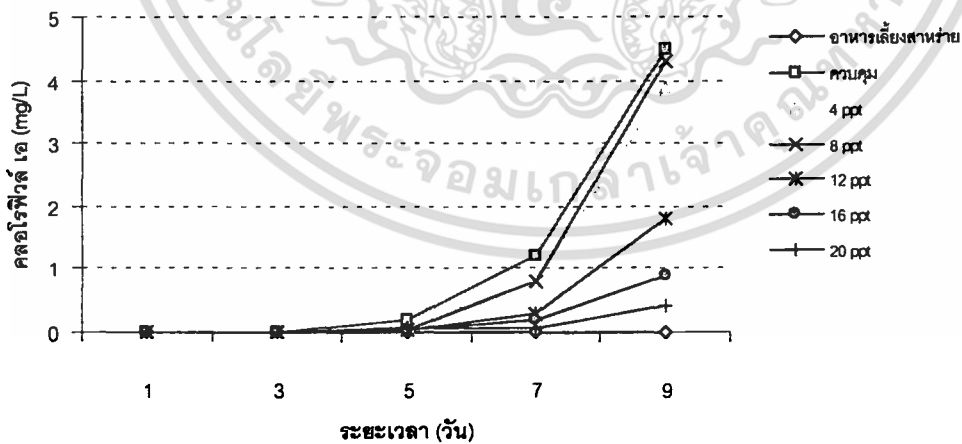
จากการทดลอง กลุ่มที่มีความเค็มสูงๆ ในช่วงแรกที่มีจำนวนเส้นสายลดลงแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะสาหร่ายมีการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมคือความเค็มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้จากการหักของเส้นสายเป็นท่อนเล็กๆ ส่วนที่ความเค็มต่ำหรือเท่ากับศูนย์จะมีจำนวนเส้นสายมากเป็นเพราะสาหร่ายไม่ต้องปรับตัวทำให้มีการแบ่งเซลล์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 33 จำนวน trichome (x10<sup>4</sup> ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

### 3. คลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ทั้งหมดตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.0±0.0 ถึง 4.5±0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองในช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 มีค่าลดลง และจะเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 9 ซึ่งในชุดควบคุมจะมีค่ามากที่สุด จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่ช่วงวันที่ 5 ถึงวันที่ 9 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 34 และตารางที่ 30)



ภาพที่ 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 28 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0 )	4	8	12	16	20
1	6.62±0.38 <sup>a</sup>	7.02±0.25 <sup>a</sup>	6.49±0.15 <sup>a</sup>	6.43±0.07 <sup>a</sup>	5.91±0.14 <sup>a</sup>	5.71±0.23 <sup>a</sup>	5.87±0.53 <sup>a</sup>
3	8.49±0.16 <sup>a</sup>	8.40±0.07 <sup>a</sup>	5.85±0.46 <sup>a</sup>	5.63±0.19 <sup>a</sup>	5.15±0.18 <sup>a</sup>	5.10±0.33 <sup>a</sup>	4.50±0.06 <sup>a</sup>
5	7.45±0.25 <sup>a</sup>	8.07±0.22 <sup>a</sup>	6.93±0.11 <sup>a</sup>	6.58±0.03 <sup>a</sup>	6.29±0.07 <sup>a</sup>	6.10±0.03 <sup>a</sup>	5.44±0.19 <sup>a</sup>
7	5.13±0.49 <sup>a</sup>	6.15±0.47 <sup>a</sup>	4.80±0.19 <sup>a</sup>	4.35±0.39 <sup>a</sup>	3.98±0.20 <sup>a</sup>	4.15±0.06 <sup>a</sup>	3.52±0.23 <sup>a</sup>
9	5.28±1.07 <sup>a</sup>	5.88±0.24 <sup>a</sup>	5.58±0.15 <sup>a</sup>	4.72±0.22 <sup>a</sup>	4.72±0.36 <sup>a</sup>	5.11±0.27 <sup>a</sup>	4.28±0.32 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 29 จำนวน trichome (x10<sup>4</sup> ต่อมิลลิลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0 )	4	8	12	16	20
1	0.00±0.00 <sup>a</sup>	5.08±0.22 <sup>b</sup>	4.33±0.36 <sup>b</sup>	5.58±0.36 <sup>b</sup>	5.33±0.22 <sup>b</sup>	6.00±0.29 <sup>b</sup>	4.75±1.01 <sup>b</sup>
3	0.00±0.00 <sup>a</sup>	12.25±1.89 <sup>c</sup>	5.41±0.67 <sup>b</sup>	0.58±0.22 <sup>a</sup>	0.16±0.08 <sup>a</sup>	0.16±0.08 <sup>a</sup>	1.08±0.60 <sup>ab</sup>
5	0.00±0.00 <sup>a</sup>	6.41±0.88 <sup>c</sup>	4.83±0.67 <sup>bc</sup>	3.08±1.31 <sup>abc</sup>	1.33±0.58 <sup>ab</sup>	0.08±0.08 <sup>a</sup>	0.08±0.08 <sup>a</sup>
7	0.00±0.00 <sup>a</sup>	17.16±0.44 <sup>c</sup>	18.33±2.77 <sup>c</sup>	11.41±2.09 <sup>bc</sup>	4.41±1.36 <sup>ab</sup>	3.58±0.85 <sup>ab</sup>	2.58±0.36 <sup>a</sup>
9	0.00±0.00 <sup>a</sup>	28.00±4.44 <sup>cd</sup>	37.33±4.19 <sup>d</sup>	25.50±4.37 <sup>bcd</sup>	14.16±3.28 <sup>abc</sup>	7.83±1.74 <sup>ab</sup>	5.83±2.46 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 30 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ระหว่างการเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ความเค็มต่างกัน

เวลา (วัน)	อาหาร	ความเค็ม ( ppt )					
		ควบคุม (0)	4	8	12	16	20
1	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>
3	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>
5	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.2±0.0 <sup>b</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>	0.0±0.0 <sup>ab</sup>	0.0±0.0 <sup>ab</sup>	0.0±0.0 <sup>ab</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>
7	0.0±0.0 <sup>a</sup>	1.2±0.2 <sup>d</sup>	0.8±0.2 <sup>cd</sup>	0.8±0.2 <sup>bcd</sup>	0.3±0.1 <sup>abc</sup>	0.2±0.1 <sup>abc</sup>	0.1±0.0 <sup>ab</sup>
9	0.0±0.0 <sup>a</sup>	4.5±0.3 <sup>b</sup>	3.9±0.5 <sup>b</sup>	4.3±0.4 <sup>b</sup>	1.8±0.4 <sup>a</sup>	0.9±0.1 <sup>a</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>

หมายเหตุ อักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างและความเค็มที่มีผลต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าเมื่อสาหร่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้น ความเป็นกรด-ด่าง, ความเป็นด่างและปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน จะมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนความกระด้าง, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ จะมีแนวโน้มลดลง

สาหร่าย *Oscillatoria* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 6 ถึง 9 และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตที่ความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.5 หรือมากกว่า 10.5

ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ชุดควบคุมและความเค็ม 4ppt จะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อความเค็มสูงขึ้น สาหร่าย *Oscillatoria* sp. สามารถเจริญเติบโตได้แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัว ซึ่งถ้าความเค็มเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วงกว้าง สาหร่ายอาจจะปรับตัวไม่ทัน ทำให้ตาย (drop) ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้นได้



### เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ สิริสิงเห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและวิธีการวิเคราะห์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม. 370 น.
- เบญจมินทร์ ทองเปิง. 2546. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืน. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, นนทบุรี. 126 น.
- ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. แผนกประมง, คณะวิชาสัตวศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ลำปาง. 86 น.
- พรเลิศ จันทรรัชกุล. 1996. เทคนิคการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืด. <http://www.fisheries.go.th/aahri>.
- มันสิน ตันซุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 351 น.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพมหานคร. 115 น.
- รุ่งนภา พิทักษ์ตันสกุล. 2543. ความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดในแหล่งน้ำยูโทรฟิคและสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Microcystis aeruginosa* Kutzling. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2539. แพลงก์ตอนพืช. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. คณะเกษตร, มหาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 327 น.
- Alam, M.G.M., N. Jahan, L. Thalib, B. Wei and T. Maekawa. 2001. Effects of Environmental Factors on the Seasonally Change of Phytoplankton Populations in a Closed Freshwater Pond. *Environment International*. 27: 363-371.
- Brock, T.D. 1973. Lower PH Limit for The Existence of Blue-Green Algae: Evolutionary and Ecological Implications. *Science*.179: 480-483.

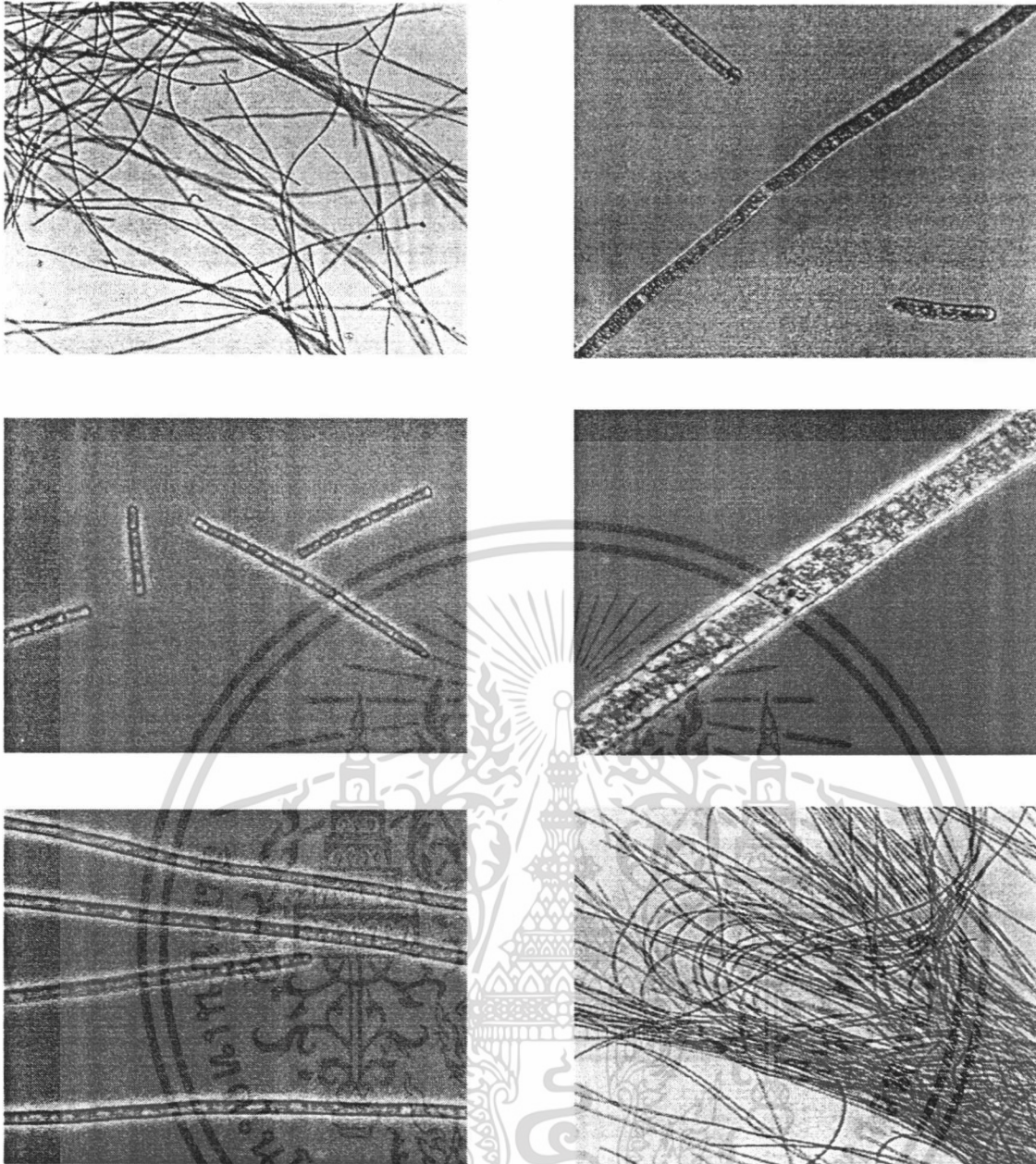
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gerloff, G.C., G.P. Fitzgerald and F. Skoog. 1952. The Mineral Nutrition of *Microcystis aeruginosa*. Am. J. Bot. 39: 26-32.
- Goldman, J.C. 1977. Biomass Production in Mass Culture of Marine Phytoplankton at Varying Temperatures. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 27: 161-169.
- Havens, K.E., R.T. Jame, T.L. East and V.H. Smith. 2003. N:P Ratio, Light Limitation and Cyanobacterial Dominance in a Subtropical Lake Impacted by Non-Point Source Nutrient Pollution. Environmental Pollution. 122: 379-390.
- Konopka, A. 1981. Influence of Temperature, Oxygen, and pH on a Metalimnetic Population of *Oscillatoria rubescens*. Applied and Environmental Microbiology. :102-108.
- Kratz, W.A. and J. Myers. 1955. Nutrition and Growth of Several Blue-Green Algae. Am. J. Bot. 42: 282-287.
- Langis, D.P., J. Noue and P. Couture. 1988. Effects of Bacterial Biofilm on Intensive Daphnia Culture. Aquaculture Eng.7: 21-38.
- New, M. B. and H.R. Rabanal. 1985. A Review of the Status of Penaeid Aquaculture in South East Asia. In: Second Australian National Prawn Seminar. :307-326.
- Peterson, H.G., F.P.Healey and R. Wagemann. 1984. Metal Toxicity to Algae: a Highly PH Dependent Phenomenon. Can J Fish Aquat Sci.41: 974-979.
- Ramesh, M.R., K.M. Shankar, C.V. Mohan and T.J. Varghese. 1999. Comparison of Three Plant Substrates for Enhancing Carp Growth Through Bacterial Biofilm. Aquaculture Eng.19: 119-131.
- Reyssacc, S.J. and M. Pletikotic. 1990. Cyanobacteria in Fish Ponds. Aquaculture. 88: 1-20.

- Ruttner, F. 1963. Fundamentals of Limnology. University of Toronto Press, Toronto.
- Shrestha, M.K. and C.F. Knud-Hansen. 1994. Increasing Attached Microorganism Biomass as a Management Strategy for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production. Aquaculture Eng.13: 101–108.
- Smith, P.T. 1996. Toxic Effects of Blooms of Marine Species of Oscillatoriales on Farmed Prawns (*Penaeus monodon*, *Penaeus japonicus*) and Brine Shrimp (*Artemia salina*). Toxicon. 34: 857-869.
- Stewart, W.D.P. and H. W. Pearson. 1970. Effects of Aerobic and Anaerobic Conditions on Growth and Metabolism of Blue-Green Algae. Proc. R. Soc. London Ser. B 175: 293-311.
- Thompson, F.L., P.C. Abreu and R.O. Cavalli. 1999. The Use of Microorganisms as Food Source for *Penaeus paulensis* Larvae. Aquaculture. :139–153.
- Thompson, F.L., P.C. Abreu and W. Wasielesky. 2001. Importance of Biofilm for Water Quality and Nourishment in Intensive Shrimp Culture. Aquaculture. 203: 263-278.
- Van den Hoek, C., D.G. Mann and M.M. Jahns. 1995. Algae an Introduction to Phycology. Cambridge University Press. <http://www.-biol.paisley.ac.uk>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะของ *Oscillatoria* sp. ระหว่างการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้