



วิทยานิพนธ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
Oscillatoria sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณ
สาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)
ในบ่อเลี้ยง

FACTORS AFFECTING THE GROWTH OF BLUE-GREEN ALGAE,
Oscillatoria sp. AND *Microcystis* sp., AND THE RELATIONSHIP OF
THEIR ABUNDANCE TO OFF-FLAVOR IN POND-CULTURED
PACIFIC WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*)

นายสมชาย หวังวิบูลย์กิจ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การประมง

ชีววิทยาประมง

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในบ่อเลี้ยง

Factors Affecting the Growth of Blue-Green Algae, *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp., and the Relationship of Their Abundance to Off-Flavor in Pond-Cultured Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

نامผู้วิจัย นายสมชาย หวังวิบูลย์กิจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชลอ ลีมสุวรรณ, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิตี ชูเชิด, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราห์ เทพาหุดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ วีระไวทยะ, M.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp.
และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)
ในบ่อเลี้ยง

Factors Affecting the Growth of Blue-Green Algae, *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp., and the
Relationship of Their Abundance to Off-Flavor in Pond-Cultured Pacific White Shrimp
(*Litopenaeus vannamei*)

โดย

นายสมชาย หวังวิบูลย์กิจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง)
พ.ศ. 2551

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ 2551: ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในบ่อเลี้ยง ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การประมง) สาขาวิทยาศาสตรจารย์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชลอ ลิมสุวรรณ, Ph.D. 110 หน้า

การทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. ได้แก่ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ รวมทั้งความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนในกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในบ่อ โดยแยกสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มต่ำให้บริสุทธิ์และเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 media ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ในห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยง *Oscillatoria* sp. ที่ระดับความเค็ม 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 พีพีที และ *Microcystis* sp. ที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 พีพีที ตลอดจนการทดลอง สำหรับความเป็นกรด-ด่าง ทดลองที่ 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5 และ 12.0 เป็นระยะเวลา 10 วัน และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ทดลองที่ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 28 วัน ตลอดจนการทดลองทั้งสองชนิด วัดการเจริญเติบโตด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทุก 2 วัน

ผลการทดลองพบว่าความเค็ม 0-10 พีพีที เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. อยู่ในช่วง 0-6 พีพีที ความเค็มที่สูงขึ้นมีผลทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดเจริญเติบโตลดลง ส่วนความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 7.5-9.5 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างของน้ำลดลงหรือสูงขึ้นกว่าช่วงดังกล่าวจะทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่า 5.45 ± 0.24 กรัมต่อลิตร มีผลทำให้ *Oscillatoria* sp. เจริญเติบโตลดลง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่า 4.95 ± 0.36 กรัมต่อลิตร ทำให้ *Microcystis* sp. เจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นอกจากนี้แอมโมเนียและฟอสฟอรัสในน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายมากกว่าตะกอนดินและเนื้อดิน ซึ่งสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถสร้างสาร geosmin โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS และ SPME fiber พบว่าปริมาณ geosmin มีความสัมพันธ์กับคลอโรฟิลล์-เอ (x) ของ *Oscillatoria* sp. ดังสมการ $y = 0.0009x - 0.0048$ ($R^2 = 0.9986$) และ *Microcystis* sp. ดังสมการ $y = 0.0009x - 0.0048$ ($R^2 = 0.9986$) ปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายทั้งสองชนิด ซึ่งการประเมินทางประสาทสัมผัสชิมรสไม่มีกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่อปริมาณ geosmin น้อยกว่า 2.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม การป้องกันการเกิดกลิ่นโคลนควรควบคุมปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยง

Somchai Wangwibulkit 2008: Factors Affecting the Growth of Blue-Green Algae, *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp., and the Relationship of Their Abundance to Off-Flavor in Pond-Cultured Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Doctor of Philosophy (Fisheries Science), Major Field: Fisheries Science, Department of Fishery Biology. Thesis Advisor: Associate Professor Chalor Limsuwan, Ph.D. 110 pages.

Experiments were carried out to determine the effects of salinity, pH and total suspended solids (TSS) on the growth of blue-green algae, *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp., and the relationship of their abundance to off-flavor in pond-cultured Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp. were isolated from Pacific white shrimp low-salinity culture ponds and cultured for mono-algae. Each species was kept in 250-ml BG-11 media in the laboratory. For *Oscillatoria* sp. salinities of 0,5,10,15,20,25 and 30 ppt were maintained throughout the experimental period, while for *Microcystis* sp. salinities of 0,3,6,9,12,15 and 18 ppt were used. The water pH was maintained at 3.0,4.5,6.0,7.5,9.0,10.5 and 12 for both species for 10 days. TSS of 0,5,10,15,20 and 25 g/l were maintained throughout the 28-day experimental period. The algal growth was measured by the determination of chlorophyll-a every 2 days.

Results showed that the optimal salinity levels for growth were 0-10 ppt for *Oscillatoria* sp., and 0-6 ppt for *Microcystis* sp. An increase in the salinity decreased the growth of both species. Water pH levels of 7.5 to 9.5 were suitable for the growth of both species, while a pH below or above this range caused a decrease in the growth of both species. TSS of more than 5.45 ± 0.24 g/l significantly decreased the growth of *Oscillatoria* sp., while TSS greater than 4.95 ± 0.36 g/l significantly decreased the growth of *Microcystis* sp. ($P < 0.05$). High concentration of ammonia and phosphorus increased the growth of both *Oscillatoria* and *Microcystis* spp. in the growout ponds. Total nitrogen and ammonia were related to the abundance of both genera in growout ponds to a greater extent than sediment and soil textures. *Oscillatoria* and *Microcystis* spp. produced geosmin which was analyzed by GC/MS with SPME fiber. The results showed that geosmin was related to chlorophyll-a (x) of *Oscillatoria* as $y = 0.0009x - 0.0048$ ($R^2 = 0.9986$) and *Microcystis* as $y = 0.0009x - 0.0048$ ($R^2 = 0.9986$). Geosmin concentration in shrimp muscle was related to the density of *Oscillatoria* and *Microcystis* spp. An estimate of the sensory threshold of geosmin concentration in shrimp muscle lower than 2.5 µg/kg gave the same results as a sensory evaluation of less than 1 which meant that there was no contamination. This study clearly indicated that in order to prevent off-flavor in shrimp from both *Oscillatoria* and *Microcystis* spp. TSS must be maintained at a suitable level during the culture period.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชลอ ลีมสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ ชูเชิด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราห์ เทพาหุดี กรรมการสาขาวิชาเอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราภรณ์ ไตรศักดิ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาในโครงการพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดาที่คอยให้กำลังใจสนับสนุนในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ภาคผนวก	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 เปรียบเทียบกลิ่นโคลนโดยวิธีประสาทสัมผัสกับปริมาณ geosmin ในปลา rainbow trout	28
2 แสดงแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟกทอเรียล โดยมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยร่วมกับ ฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ <i>Oscillatoria</i>	32
3 แสดงแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟกทอเรียล โดยมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยร่วมกับ ฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ <i>Microcystis</i>	33
4 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	42
5 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	43
6 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	44
7 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	46
8 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> และปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	50
9 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> และปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	53
10 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 12 วัน	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
11 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 12 วัน	62
12 คุณสมบัติของดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ	67
13 คุณสมบัติของตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ	68
14 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ	68
15 ความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> และ <i>Microcystis</i>	69
16 แสดงความสัมพันธ์คุณสมบัติ น้ำ ตะกอนดิน และดินกับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ	75

ตารางผนวกที่

1 สูตรอาหาร BG-11 Medium	95
2 ส่วนประกอบของ trace metal mix A5 + Co	95
3 สูตรอาหาร Allan blue green medium, modified	96
4 สารละลายธาตุอาหารรอง	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กุ้งขาวแวนนาไม (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	5
2	การเปลี่ยนแปลงของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งและอาหารที่เหลือในรูปของสารประกอบไนโตรเจน (แอมโมเนีย ยูเรีย สารละลายอะมิโนกรดและสารประกอบไนโตรเจนรูปอื่นๆ) ในบ่อเลี้ยง	6
3	การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้ง	6
4	การเปลี่ยนแปลงมูลกุ้งในน้ำเลี้ยงกุ้งและน้ำทะเล เป็นสารละลายอินทรีย์ไนโตรเจน ยูเรีย สารละลายสารอะมิโนกรดและแอมโมเนีย ในระยะ เวลา 8 ชั่วโมง	7
5	การเปลี่ยนแปลงอาหารกุ้งสำเร็จรูปในน้ำเลี้ยงกุ้งและน้ำทะเล เป็นสารละลายอินทรีย์ไนโตรเจน ยูเรีย สารละลายสารอะมิโนกรดและแอมโมเนีย ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง	8
6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำที่เดิมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา	9
7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำที่เดิมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา	9
8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในน้ำที่เดิมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา	10
9	(a) (b) ลักษณะเส้นสายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i>	11
10	(a) โคโลนี และ (b) เซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i>	11
11	ผลของอุณหภูมิต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักรากแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย <i>Anabaena</i> sp.	13
12	ผลของความเข้มแสงต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักรากแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย <i>Anabaena</i> sp.	14

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Chattonella marina</i>	15
14	nitrogenase activity ของสาหร่าย <i>Anabaena azollae</i> ในสภาพที่มี NaCl ความเข้มข้นระดับต่างๆ	16
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	17
16	ผลของแอมโมเนียต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักรากแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย <i>Anabaena</i> sp.	18
17	ผลของไนเตรตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักรากแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย <i>Anabaena</i> sp.	19
18	ผลของฟอสเฟตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักรากแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรากแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย <i>Anabaena</i> sp.	20
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพปริมาณไนโตรเจน ฟอสเฟต และอัตราส่วนของ N:P ที่แตกต่างกัน	21
20	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน	22
21	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน	22
22	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน N/P ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน	23
23	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดกับปริมาณ geosmin ในน้ำบ่อเลี้ยงปลา trout	24
24	รูปแบบโครงสร้างของ geosmin I) m/z = 182, II) m/z = 112 และ III) m/z = 126	26
25	mass spectrum ของ geosmin ที่แตกตัว I) m/z = 182, II) m/z = 112 และ III) m/z = 126	26
26	chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin (d)	27
27	mass spectrum ของ geosmin	27

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ประสิทธิภาพของ SPME fiber แต่ละชนิดในการวิเคราะห์ปริมาณ geosmin 50 ng/L	28
29	ลักษณะเส้นสายของ <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในความเค็มน้อยกว่า 10 พีพีที	41
30	ลักษณะเส้นสายของ <i>Oscillatoria</i> จับกันเป็นกลุ่มในความเค็มสูงกว่า 15 พีพีที	41
31	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	42
32	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นระยะเวลา 10 วัน	43
33	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	45
34	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	46
35	ลักษณะเส้นสายของ <i>Oscillatoria</i> ที่แยกจากกันเนื่องจากเลี้ยงในความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6	47
36	ลักษณะเส้นสายปกติของ <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 6	47
37	ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่างๆ ระหว่างการทดลองสาหร่าย <i>Oscillatoria</i>	49
38	ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ต่างๆ	49
39	ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	50
40	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่าง ๆ	51
41	<i>Oscillatoria</i> เจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน)	51
42	<i>Oscillatoria</i> ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในสภาพที่มีปริมาณสารแขวนลอยมาก	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่างๆ ระหว่างการทดลองสาหร่าย <i>Microcystis</i>	52
44	ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ต่างๆ	53
45	ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	54
46	การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่าง ๆ	54
47	<i>Microcystis</i> เจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีสารแขวนลอย (ตะกอนดิน)	55
48	<i>Microcystis</i> ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในสภาพที่มีสารแขวนลอยมาก	55
49	ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Oscillatoria</i> วันที่ 12 ของการเลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ระดับต่างๆ	61
50	ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล <i>Microcystis</i> วันที่ 12 ของการเลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ	66
51	ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในดินกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	70
52	ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตในดินกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	70
53	ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดินกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	71
54	ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตในตะกอนดินกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	71
55	ความสัมพันธ์ของความเค็มในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	72
56	ความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-ด่างในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
57	ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	73
58	ความสัมพันธ์ของปริมาณแอมโมเนียในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	73
59	ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	74
60	ความสัมพันธ์ของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำกับจำนวน <i>Oscillatoria</i> ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	74
61	chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS	76
62	mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน $m/z = 112$	77
63	แสดงความสัมพันธ์พื้นที่ที่ได้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME	77
64	แสดงความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> กับปริมาณ geosmin	78
65	แสดงความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอของสาหร่าย <i>Microcystis</i> กับปริมาณ geosmin	78
66	แสดงความสัมพันธ์ความหนาแน่นของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> กับปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม	79
67	แสดงความสัมพันธ์ปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมกับระดับกลิ่นที่ตรวจสอบโดยวิธีทางประสาทสัมผัส	80
ภาพผนวกที่		
1	บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	97
2	บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมปูด้วยพลาสติกฟิอิ	97

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
3 ภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีตะกอนดินแขวนลอย	97
4 ภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีตะกอนดินแขวนลอยมาก	98
5 ภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มี <i>Oscillatoria</i> sp. เจริญเติบโต	98
6 ภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มี <i>Microcystis</i> sp. เจริญเติบโต	98
7 กรองเซลล์ <i>Microcystis</i> จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยถุงกรองแพลงก์ตอน	99
8 นำเซลล์ไปตรวจเช็คภายใต้กล้องจุลทรรศน์	99
9 ลักษณะเส้นสายของ <i>Oscillatoria</i>	99
10 ลักษณะเซลล์เส้นสายของ <i>Oscillatoria</i>	100
11 ตรวจเช็คเซลล์หัวเชื้อ <i>Oscillatoria</i>	100
12 ลักษณะ <i>Oscillatoria</i> ที่ขยายสำหรับใช้ทดลอง	100
13 ลักษณะโคโลนีของ <i>Microcystis</i>	101
14 ลักษณะโคโลนีของ <i>Microcystis</i>	101
15 หัวเชื้อเซลล์ <i>Microcystis</i> ที่แยกจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	101
16 ขยายเซลล์ <i>Microcystis</i> เพื่อใช้ในการทดลอง	102
17 การทดลองผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i>	102
18 การทดลองผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i>	102
19 การทดลองผลของไนโตรเจนและฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Microcystis</i>	103
20 core เก็บตัวอย่างดิน	103
21 ตัวอย่างดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	103
22 ท่อเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	104
23 ตัวอย่างตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาว	104
24 สุ่มตัวอย่างกุ้งแวนนาไมด้วยแห	104
25 ตัวอย่างกุ้งแวนนาไมจากบ่อเลี้ยง	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
26 ตัวอย่างกึ่งแวนนาไมจากบ่อเลี้ยง	105
27 ชุดอุปกรณ์ GC/MS	105
28 ถังแก๊ส helium บริสุทธิ์	106
29 เครื่อง GC/MS	106
30 สารมาตรฐาน geosmin	106
31 ขวด vial สีชาสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง	107
32 SPME holder	107
33 ให้ความร้อนกับตัวอย่าง โดยมี SPME fiber เป็นตัวนำความร้อน	107
34 นำ SPME fiber ส่งตัวอย่างเข้าเครื่อง GC/MS	108
35 คอมพิวเตอร์ประมวลผลการวิเคราะห์สาร geosmin	108
36 mass spectrum จากการวิเคราะห์สาร geosmin	109

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. และความสัมพันธ์ของปริมาณสาหร่ายต่อกลิ่นโคลนใน กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ในบ่อเลี้ยง

Factors Affecting the Growth of Blue-Green Algae, *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp., and the Relationship of Their Abundance to Off-Flavor in Pond-Cultured Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

คำนำ

หลังจากกรมประมงอนุญาตให้มีการนำกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เข้ามา ทดลองเลี้ยงในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2545 ทำให้ผลผลิตจากการเลี้ยงกุ้งขาวชนิดนี้เพิ่มขึ้นอย่าง มากในทุกพื้นที่ เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมได้มีการพัฒนาสายพันธุ์มาแล้วทำให้มีการเจริญเติบโต รวดเร็วและเลี้ยงง่ายกว่ากุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ซึ่งมีปัญหาการเจริญเติบโตช้าทำให้ผลผลิต ต่ำหรือไม่แน่นอนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เกษตรกรส่วนมากจะปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง 60-120 ตัวต่อตารางเมตร หรือมากกว่า นี้เมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งกุลาดำแล้วจะมากกว่าประมาณ 2-4 เท่า ทำให้ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอด ระยะเวลาในการเลี้ยงสูงมาก เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนเพิ่มจำนวนมาก โดยเฉพาะถ้า เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำจะมีแพลงก์ตอนในกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) หนาแน่นมาก (พจมาน, 2549) และพื้นที่บ่อทั้งหมดคูปด้วยโพลีเอททิลีนหรือพีอี (อรอนงค์, 2547) ในที่มีปริมาณ แพลงก์ตอนในกลุ่มนี้มาก ถ้าไม่สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำได้อย่างเพียงพอ จะทำให้กุ้งมีปัญหากลิ่น โคลน (musty flavor หรือ off-flavor) ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคส่งผลกระทบต่อราคากุ้งทำ ให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งสูญเสียรายได้มากพอสมควร โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ราคา กุ้งขาวแวนนาไมตกอยู่ในระดับที่ต่ำมากอยู่แล้ว

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* เป็นแพลงก์ตอนที่พบได้ ทั่วไปในน้ำจืดและพบในปริมาณมากในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ (ชลอ, 2534; 2543) การเปลี่ยนแปลงชนิด และปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติ ของน้ำ และธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำ และตะกอนดิน (Yusoff *et*

al., 2001; Hillebrand and Kahlert, 2002; Saha, 2003) นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ยังมีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ และปริมาณ geosmin (Saadoun *et al.*, 2001) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายสกุลรวมทั้ง *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถสร้างสาร geosmin และ 2-methyl isoborneol (MIB) ที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในน้ำและในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีน้ำเงินแต่ละชนิด (Jones and Wolfgang, 1995; Hu and Chiang, 1996; Durrer *et al.*, 1999) โดยเฉพาะเมื่อสาหร่ายจำนวนมากตายและมีการย่อยสลาย นอกจากจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง (Krom and Neori, 1989) จะเกิดกลิ่นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ ซึ่งมีการศึกษาในปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) (Lorio *et al.*, 1992; Zhu *et al.*, 1999; Grimm *et al.*, 2004) ปลา rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) และในกุ้ง (Lovell and Broce, 1985) สำหรับปัญหากลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทย ส่วนมากมีรายงานจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ชโล, 2535) โดยเฉพาะบ่อที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ (ชโล, 2543) ซึ่งใช้วิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ (พจมาน, 2549) แม้ว่าปัญหากลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยงกุ้งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัย เพื่อหาแนวทางในการป้องกันหรือลดปัญหากลิ่นโคลนในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมซึ่งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในขณะนี้ การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะคุณสมบัติของน้ำ ธาตุอาหารในน้ำและในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ซึ่งพบทั่วไปในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำจะทำให้ทราบถึงแนวทางการจัดการที่เหมาะสมเพื่อป้องกันและควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนในกลุ่มนี้ และลดปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนได้ จะทำให้คุณภาพของกุ้งขาวแวนนาไมดีขึ้นได้มาตรฐาน เพื่อการบริโภคและการส่งออก จะมีผลทำให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งของประเทศไทย ประสบความสำเร็จ มั่นคง และยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยคุณภาพน้ำ ตะกอนดิน และดินกับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม
3. ศึกษาความสัมพันธ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับปริมาณ geosmin และกลีโคไลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

การตรวจเอกสาร

1. การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ

การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (ภาพที่ 1) ในประเทศไทยมีการเลี้ยงทั้งในพื้นที่น้ำเค็มและน้ำจืด จังหวัดฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรีเป็นเขตพื้นที่ที่มีการเลี้ยงกุ้งขาวในน้ำความเค็มต่ำจำนวนมาก ซึ่งความเค็มในการเลี้ยงกุ้งขาวที่เหมาะสมจะเลี้ยงในความเค็มที่มากกว่า 1 ส่วนในพันส่วน (พีพีที) แต่ถ้าปล่อยกุ้งขาวเน้นการรักษาความเค็มไว้ที่ 2-3 พีพีที ระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวถ้ากุ้งเริ่มไม่โตอาจมีสาเหตุมาจากการถ่ายน้ำน้อย หรือความเค็มลดลงจนถึงระดับที่กุ้งขาวไม่โต คือ ความเค็มน้อยกว่า 1.0 พีพีที การเลี้ยงกุ้งขาวในเขตจังหวัดปราจีนบุรีช่วง 1 เดือนแรกของการเลี้ยงกุ้งขาวที่เลี้ยงควรจะได้ให้น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3 กรัม/ตัว หลังจากนั้นน้ำหนักควรเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.5 กรัม/สัปดาห์ ความเค็มอยู่ในช่วง 2.5-4.0 พีพีที โดยเฉพาะถ้าเป็นกุ้งขาวสายพันธุ์ดีและเลี้ยงที่ความเค็ม 6 พีพีที กุ้งจะโตดีที่สุดและหากมีการถ่ายน้ำอย่างเพียงพอก็จะทำให้ผลการเลี้ยงดียิ่งขึ้น การเลี้ยงกุ้งขาวในน้ำที่มีความเค็มต่ำ จึงมีความจำเป็นในการเติมแร่ธาตุต่างๆ ลงในน้ำและควรผสมเกลือแร่ต่างๆ คลุกกับอาหารให้กุ้งขาวกินโดยเฉพาะในช่วงก่อนการลอกคราบ เพราะแร่ธาตุจากน้ำและอาหารที่เพียงพอจะทำให้หลังการลอกคราบเปลือกกุ้งจะแข็งแรงและมีการเจริญเติบโตเร็ว (ชลอ, 2551) ในการเลี้ยงกุ้งขาวเกษตรกรมีการปล่อยกุ้งขาวในอัตราความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพื้นที่การเลี้ยง ถ้าน้ำมีความเค็มปกติก็สามารถปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูงได้ การเลี้ยงกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยง และอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของไต สุขภาพ และคุณภาพของกุ้งได้

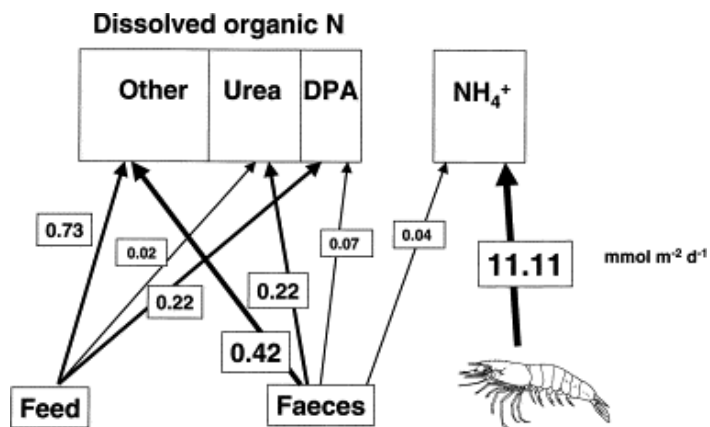
2. การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เกิดจากการสะสมสารอินทรีย์ที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำปริมาณอาหารที่เหลือ และซากพืชซากสัตว์ที่สะสมอยู่ในบ่อเลี้ยง Burford and Williams (2001) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบไนโตรเจนจากการขับถ่ายของกุ้งกุลาดำ และอาหารที่เหลือในบ่อเลี้ยง พบว่าของเสียในรูปของแอมโมเนียจะขับออกมาจากเหงือกและมูลกุ้ง นอกจากนี้มูลกุ้งและอาหารกุ้งที่เหลือในบ่อจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบยูเรีย (urea) สารละลายอะ

มีนชั้นต้น (dissolved primary amine, DPA) และสารประกอบไนโตรเจนรูปอื่นๆ (ภาพที่ 2) ซึ่งสารประกอบอาจจะละลายหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำ บางส่วนสะสมในดินและตะกอนดินบริเวณพื้นบ่อ สารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายจนกลายเป็นสารอนินทรีย์ในรูปของสารประกอบไนโตรเจน และแร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งสารอนินทรีย์บางส่วนยังคงสะสมอยู่ในดินและตะกอนดิน บางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาในน้ำ ซึ่งสาหร่าย และแบคทีเรียสามารถนำสารอนินทรีย์ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ดังภาพที่ 3 (Funge-Smith and Briggs, 1998) ในแหล่งน้ำที่มีสารอนินทรีย์มากมักจะพบสาหร่ายบางกลุ่มเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว (bloom) เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ซึ่งจะพบบ่อยครั้งในน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร (Tas *et al.* 2006; Domingues *et al.* 2007) นอกจากธาตุอาหารแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง และความเค็ม เป็นต้น (Alam *et al.* 2001; Xie *et al.* 2003a)

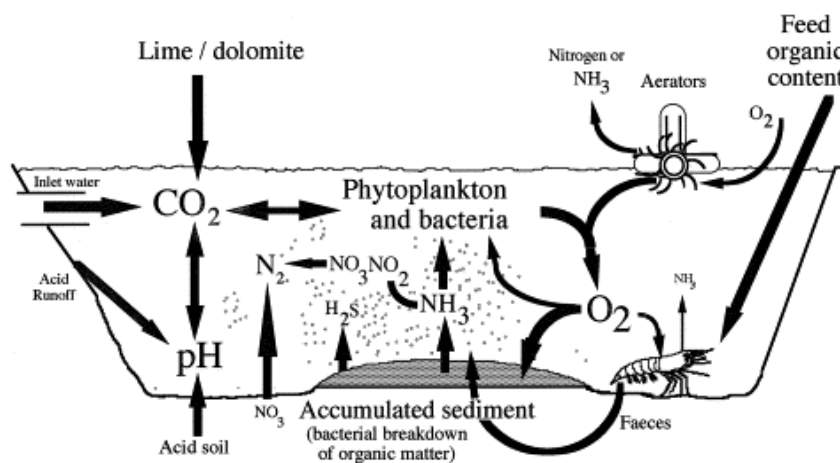


ภาพที่ 1 กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งกุลาดำและอาหารที่เหลือ ในรูปของสารประกอบไนโตรเจน (แอมโมเนีย ยูเรีย สารละลายอะมิโนกรด และสารประกอบไนโตรเจนรูปอื่นๆ) ในบ่อเลี้ยง

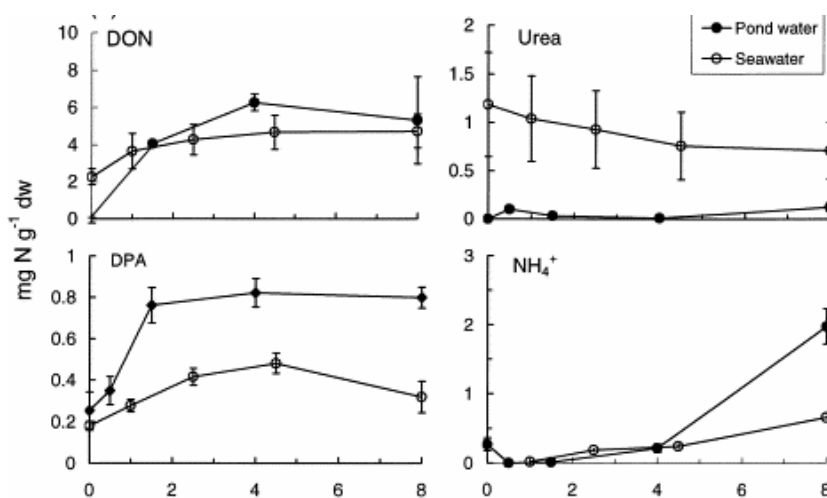
ที่มา: Burford and Williams (2001)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในสภาพแวดล้อมของบ่อเลี้ยงกุ้ง

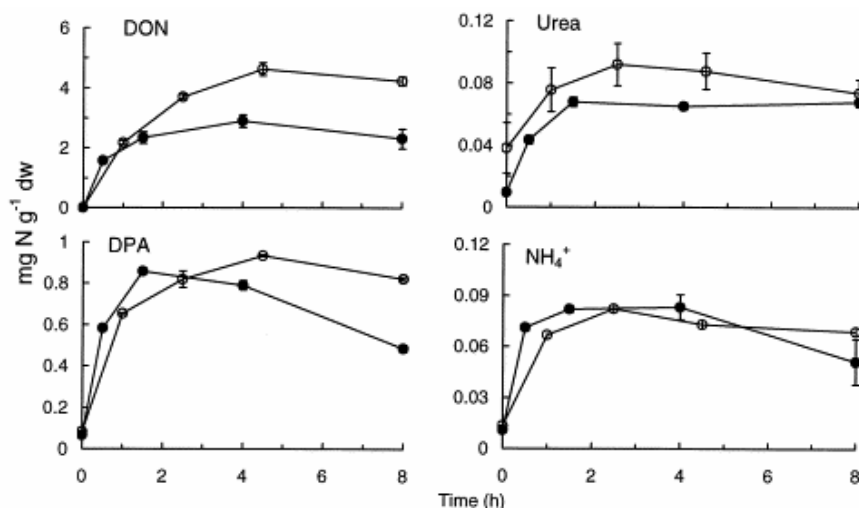
ที่มา: Funge-Smith and Briggs (1998)

การเปลี่ยนแปลงมูลกึ่งและอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่เหลือในน้ำเกิดจากแบคทีเรียย่อยสลายไปเป็นสารประกอบต่างๆ ที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้ จากการทดลองของ Burford and Williams (2001) พบว่ามูลกึ่งในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารละลายอินทรีย์ในโตรเจน และสารละลายอะมิโนขึ้นต้นเพิ่มขึ้นภายในเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นหลังจาก 4 ชั่วโมง และยูเรียจะมีปริมาณลดลง (ภาพที่ 4) ส่วนอาหารกึ่งสำเร็จรูปในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารละลายอินทรีย์ในโตรเจน ยูเรีย สารละลายอะมิโนขึ้นต้น และแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นหลังจาก 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 5) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนรูปต่างๆ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (Alam *et al.* 2001; Xie *et al.* 2003b) จากการสะสมและเปลี่ยนแปลงของเสียจากกึ่งและอาหารกึ่งที่เหลือภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ดังนั้น ของเสียจากกึ่งและอาหารกึ่งที่เหลือในบ่อจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้สภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในบ่อเลี้ยงที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมักจะพบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงมูลกึ่งในน้ำเลี้ยงกึ่งและน้ำทะเลเป็นสารละลายอินทรีย์ในโตรเจน ยูเรีย สารละลายอะมิโนขึ้นต้นและแอมโมเนีย ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

ที่มา: Burford and Williams (2001)

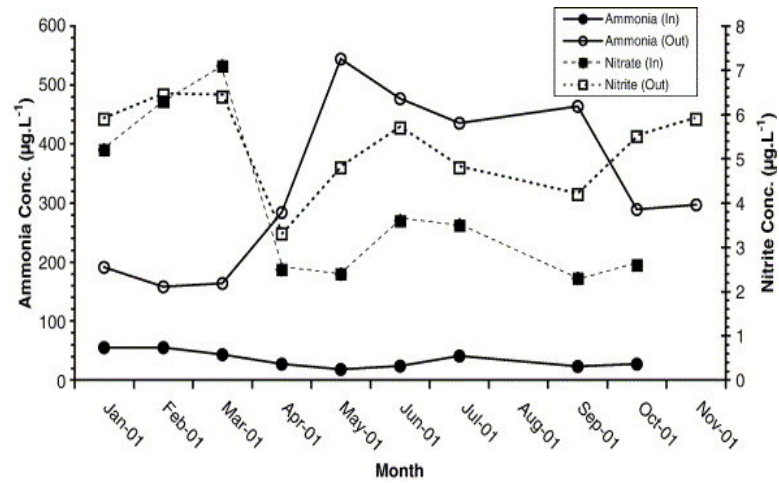


ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอาหารกุ้งสำเร็จรูปในน้ำเลี้ยงกุ้งและน้ำทะเล เป็นสารละลายอินทรีย์

ไนโตรเจน ยูเรีย สารละลายอะมีนขึ้นต้นและแอมโมเนีย ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

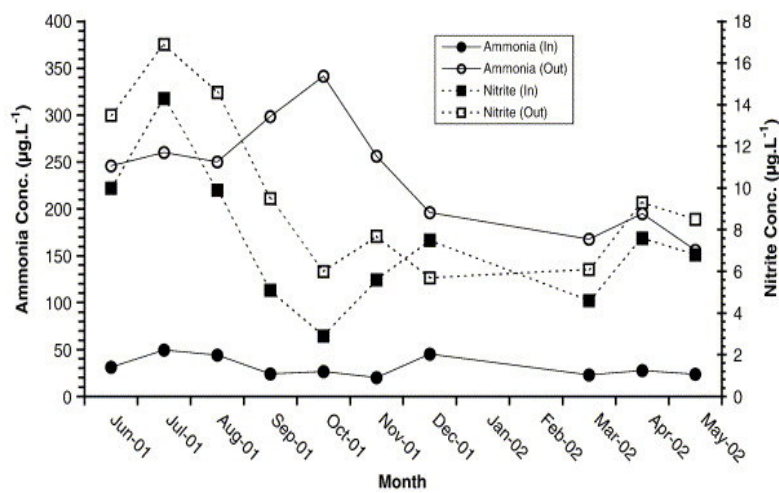
ที่มา: Burford and Williams (2001)

การศึกษาของ Robertson *et al.* (2006) แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ไนเตรท และฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในบ่อเลี้ยงปลา rainbow trout เนื่องจากการสะสมของสารอินทรีย์และสิ่งขับถ่ายของปลาที่สะสมอยู่ในบ่อเลี้ยง ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ไนเตรท และฟอสเฟต สูงกว่าคุณภาพน้ำที่เดิมเข้าบ่อเลี้ยง (ภาพที่ 6-8) การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงจึงทำให้น้ำมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุอาหารหลักไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย บ่อยครั้งจะพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* อย่างรวดเร็ว (Bobbins and Recknagel, 2001; Hillebrand and Kahlert, 2002; Xie *et al.*, 2003a)



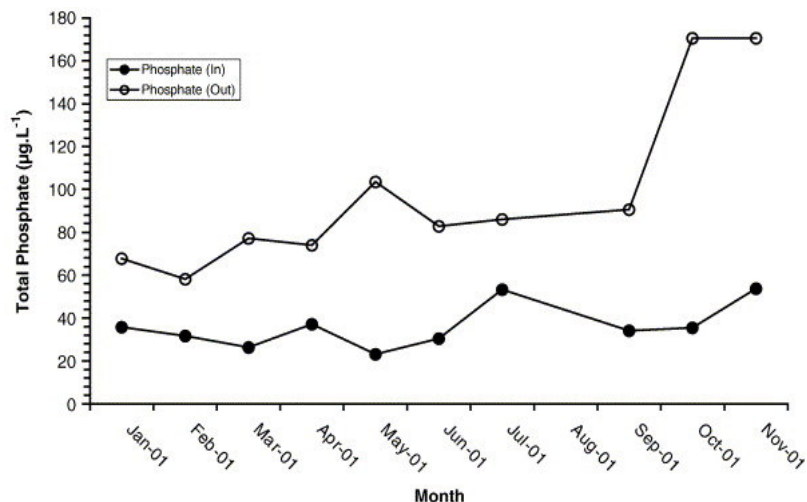
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำที่เดิมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา

ที่มา: Robertson *et al.* (2006)



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทในน้ำที่เดิมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา

ที่มา: Robertson *et al.* (2006)



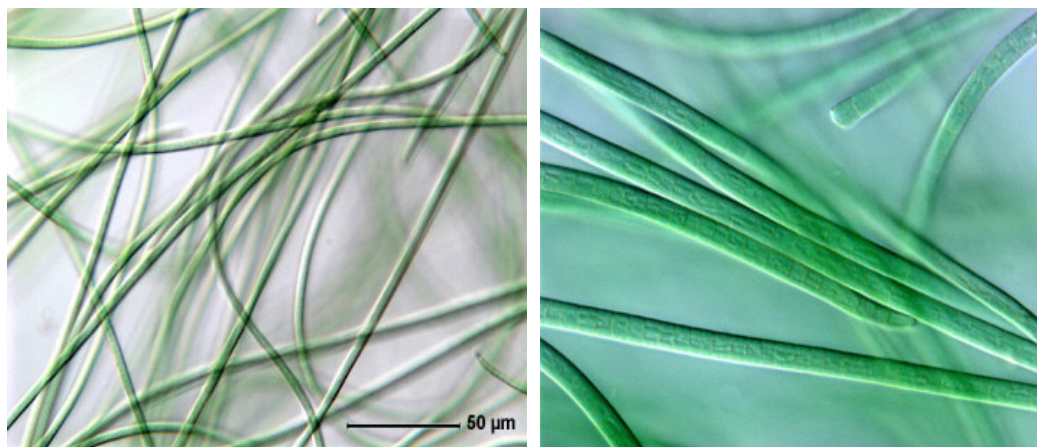
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในน้ำที่เติมและปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลา

ที่มา: Robertson *et al.* (2006)

3. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*

Oscillatoria และ *Microcystis* เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เซลล์ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (prokaryotic cell) ทำให้จัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรีย (cyanobacteria) นอกจากนี้ภายในเซลล์ยังมีคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ จึงทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินถูกจัดอยู่ในกลุ่มของแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) การจำแนกชนิดจะจัด *Oscillatoria* และ *Microcystis* อยู่ใน Division Cyanophyta, Class Cyanophyceae, Order Nostocales ส่วน Family ของ *Oscillatoria* จัดอยู่ใน Family Oscillatoriaceae และ *Microcystis* จัดอยู่ใน Family Chroococaceae ลักษณะเซลล์ *Oscillatoria* เป็นสาหร่ายที่เป็นเส้นสาย (filamentous blue green algae) ไม่แตกแขนง มีความกว้างของเซลล์สม่ำเสมอ และไม่มี sheath หุ้ม (ภาพที่ 9 (a)) ส่วนสาหร่าย *Microcystis* เซลล์มีรูปร่างกลม ภายในมี gas vacuole คลอโรฟิลล์-เอ บี และซี เซลล์จะรวมตัวเป็นกลุ่มมี sheath ล้อมรอบ (ภาพที่ 10 (a) (b)) ลักษณะของกลุ่มเซลล์มีรูปร่างไม่แน่นอน (Haider *et al.*, 2003) เมื่อเจริญเติบโตจะลอยเป็นฟองลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็น

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน (off-flavor) ในสัตว์น้ำหลายชนิดรวมทั้งกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำและสัตว์น้ำที่เลี้ยงในน้ำจืด

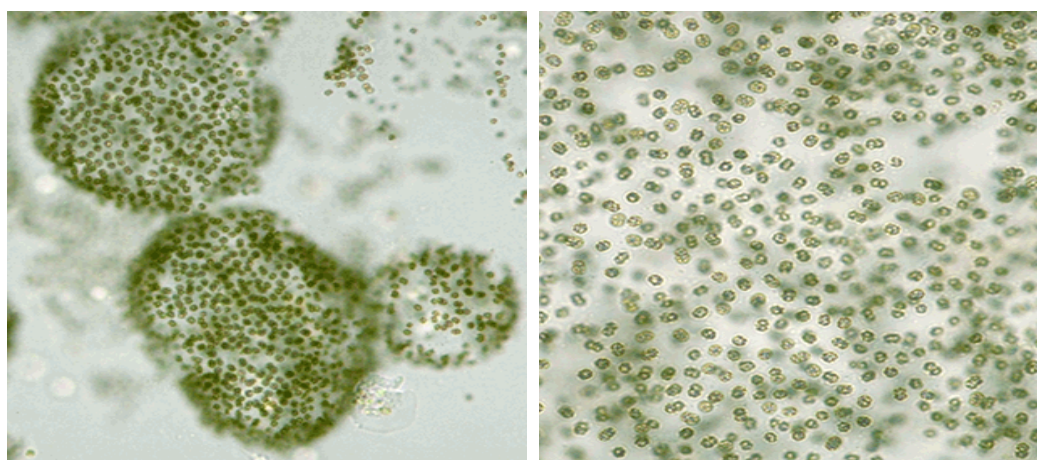


(a)

(b)

ภาพที่ 9 (a) (b) ลักษณะเส้นสายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*

ที่มา: Anonymous (2008)



(a)

(b)

ภาพที่ 10 (a) โคลนี และ (b) เซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis*

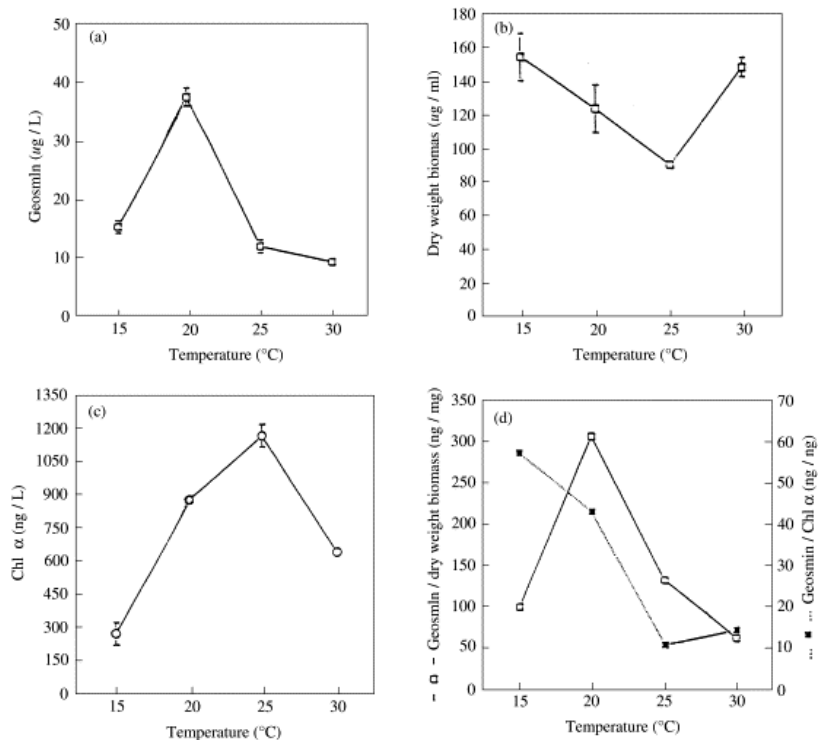
ที่มา: Anonymous (2007)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในแหล่งน้ำจะมีเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆ ในสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำนั้นๆ เช่น อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นเป็นสาเหตุทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วหรือถูกยับยั้งการเจริญเติบโตก็ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างสารประกอบภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และ geosmin เป็นต้น

4.1 อุณหภูมิ

การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความยาวและขนาดของเซลล์สาหร่ายและพบว่าอุณหภูมิและแสงเป็นปัจจัยที่ช่วยเร่งการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย (Alam *et al.*, 2001) ดังนั้น การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะเจริญเติบโตได้รวดเร็วในช่วงฤดูร้อน จากการศึกษาชนิดแพลงก์ตอนในแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศไทยพบว่าปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยเฉพาะสกุล *Oscillatoria* จะพบได้บ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อน (จารุวรรณ และ คณะ, 2538; สมชาย และ อัจฉรี, 2542; จุโลวรรณ และ โสภณ, 2543; ชลอ, 2543) และพบปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* อย่างรวดเร็วในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจำนวนมาก Saadoun *et al.* (2001) ได้แยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* จากแหล่งน้ำมาเลี้ยงในอาหาร modified BG-11 liquid medium ทดลองเลี้ยงที่ความเข้มแสง $17 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ แต่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* จะมีการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin สูงสุด (ภาพที่ 11 a) และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอสูงสุด (ภาพที่ 11 b) แต่มวลน้ำหนักแห้งจะมีน้ำหนักต่ำที่สุด (ภาพที่ 11 c) ซึ่งมีผลทำให้อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอเปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 11 d)

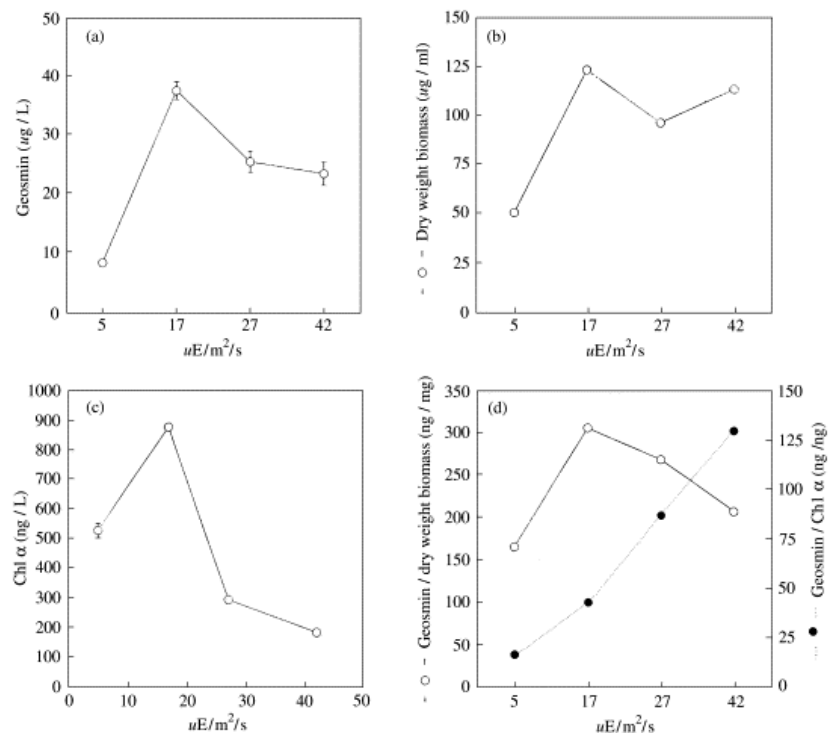


ภาพที่ 11 ผลของอุณหภูมิต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา: Saadoun *et al.* (2001)

4.2 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเนื่องจากใช้ในการสังเคราะห์แสง และช่วยเร่งการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย (Alam *et al.*, 2001) เพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์ และมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin และคลอโรฟิลล์-เอ Saadoun *et al.* (2001) พบว่าความเข้มแสงมีผลต่อสาหร่าย *Anabaena* ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 12 a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 12 b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 12 c) และอัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้งสูงสุด (ภาพที่ 12d) ที่ความเข้มแสง 17 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ส่วนอัตราส่วน geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 12 d) จะมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น

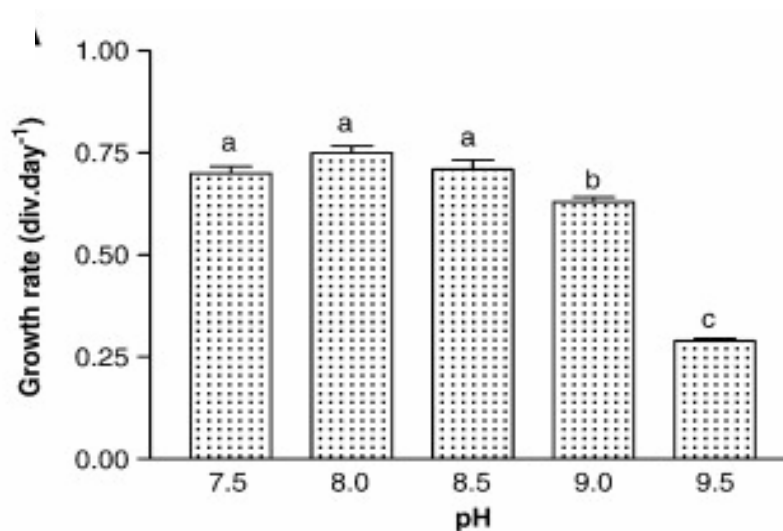


ภาพที่ 12 ผลของความเข้มแสงต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา: Saadoun *et al.* (2001)

4.3 ความเป็นกรด-ด่าง

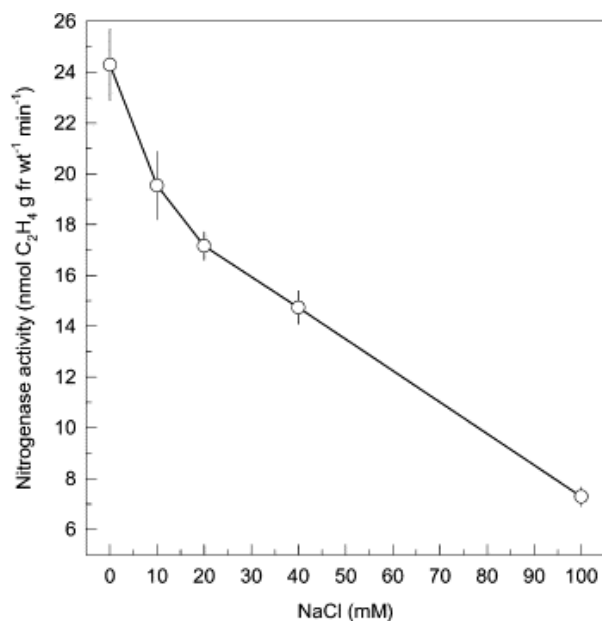
Alam *et al.* (2001) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแฟลกก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงปลา พบว่าการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลมีผลต่อความหนาแน่นของเซลล์ *Oscillatoria* ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณฟอสเฟต เมื่อความเป็นกรด-ด่างสูง และปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้น จะเป็นปัจจัยที่ทำให้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว (Bobbins and Recknagel, 2001) จากการศึกษาของ Liu *et al.* (2007) พบว่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงกว่า 9 จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chattonella marina* ลดลง (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chattonella marina*
ที่มา: Liu *et al.* (2007)

4.4 ความเค็ม

ความเค็มในน้ำเป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากมีผลที่ทำให้ความสมดุลของออสโมติกภายในเซลล์ผิดปกติและส่งผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลดอัตราการดึงไนโตรเจนมาใช้และการทำงานของเอนไซม์ alkaline phosphatase (Herbst and Blinn, 1998; Fu and Bell, 2003) รวมทั้งลดการเกิด nitrogenase activity (Rai *et al.*, 2001) ในสาหร่าย *Anabaena azollae* ดังภาพที่ 14 นอกจากนี้เกลือโพแทสเซียมความเข้มข้น 5 มิลลิโมล สามารถที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis* ได้ (Parker *et al.*, 1997)



ภาพที่ 14 nitrogenase activity ของสาหร่าย *Anabaena azollae* ในสภาพที่มี NaCl ความเข้มข้นระดับต่างๆ

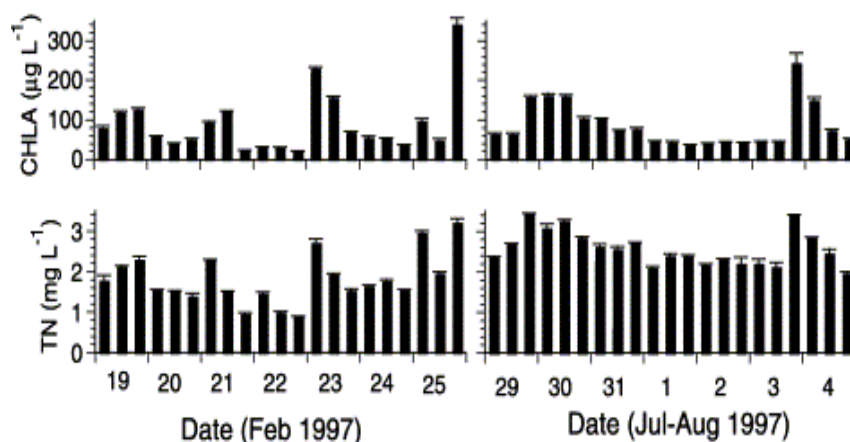
ที่มา: Rai *et al.* (2001)

4.5 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟต

การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* มีธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดยเฉพาะธาตุอาหารหลักไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ และในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำและอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อเลี้ยง เมื่อของเสียเหล่านั้นถูกย่อยสลายทำให้เกิดธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด (Pillay, 1992) การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำและตะกอนดินซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมทางฟิสิกส์และเคมี (Hillebrand and Kahlert, 2002)

4.5.1 ไนโตรเจน

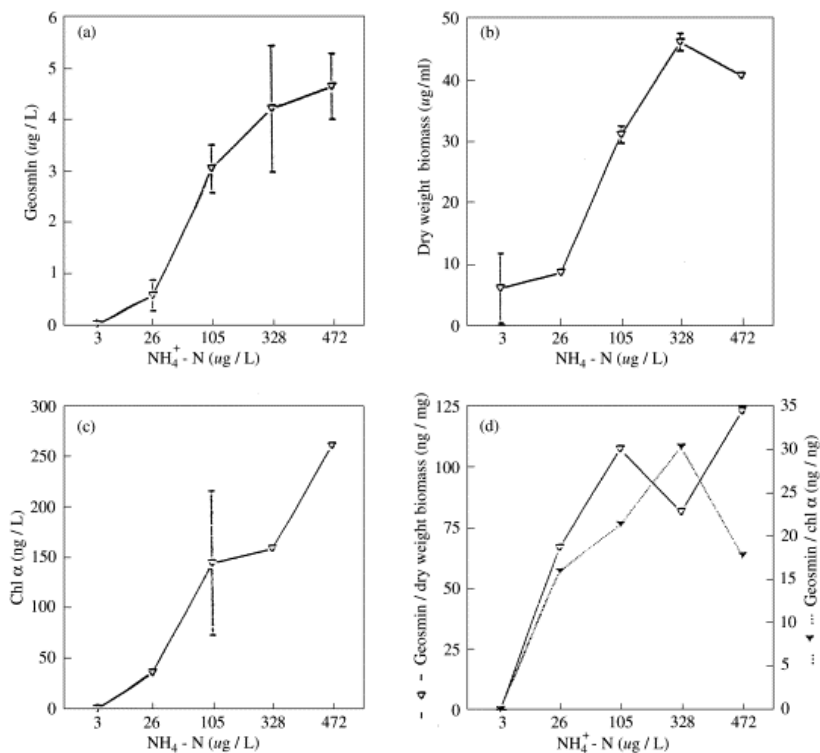
ปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลไกทางสรีรวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Saha (2003) พบว่าในสภาวะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria willei* BDU 130511ขาดไนโตรเจนเป็นเวลานานจะทำให้ลักษณะของเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีสีเหลืองและเซลล์จะแตกหักออกจากเส้นสายเป็นจำนวนมาก การเจริญเติบโตจะลดลง 17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด Funge-Smith and Briggs (1998) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจน (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน กับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ที่มา: Funge-Smith and Briggs (1998)

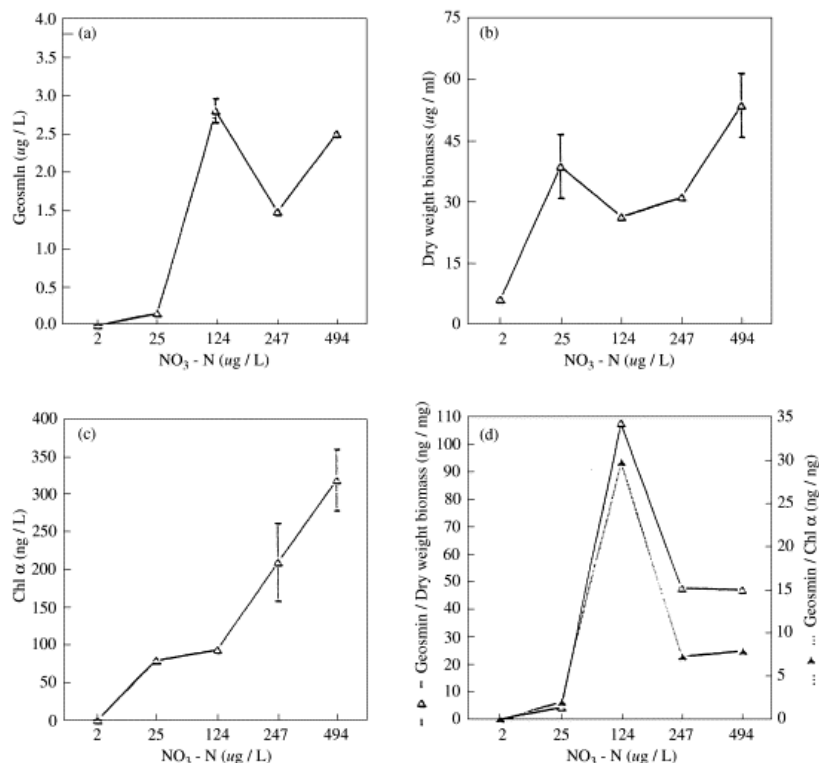
นอกจากนี้ Saadoun *et al.* (2001) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมีผลต่อการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 16 a) มวลน้ำหนักรวม (ภาพที่ 16 b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 16 c) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักรวมสูงสุด และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 16 d) ของสาหร่าย *Anabaena* โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 16 ผลของแอมโมเนียต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา: Saadoun *et al.* (2001)

ส่วนปริมาณไนเตรทจะมีผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Anabaena* ในการสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 17 a) มีอัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 17 d) สูงสุด เมื่อมีปริมาณไนเตรท 124 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนมวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 17 b) และคลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 17 c) มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรท



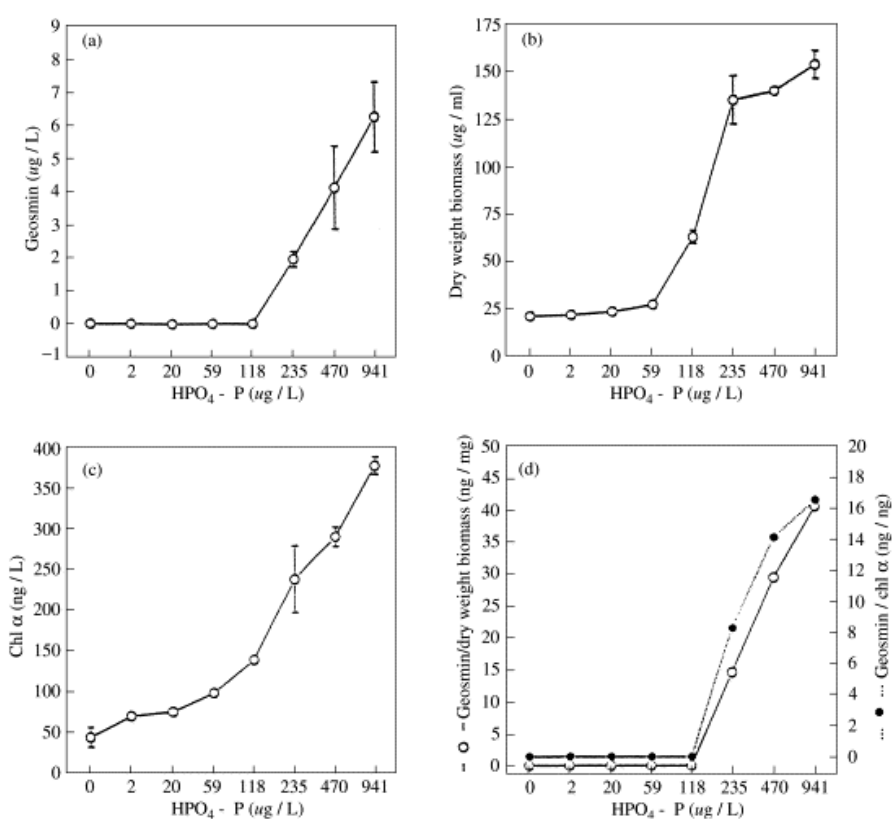
ภาพที่ 17 ผลของไนเตรตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักแห้ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักแห้ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena* sp.

ที่มา: Saadoun *et al.* (2001)

4.5.2 ฟอสเฟต (total phosphate, TP และ soluble reactive phosphate, SRP)

ในช่วงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 9 (ชโล, 2543) และเป็นผลทำให้ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น (Hillebrand and Kahlert, 2002; Xie *et al.*, 2003 a) เนื่องจากฟอสเฟตที่อยู่ในตะกอนดินจะแตกตัวและปล่อยฟอสเฟตออกสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น (Boyd, 1995; Boyd and Munsiri, 1996; Xie *et al.*, 2003a) ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ปริมาณ geosmin (ภาพที่ 18a) มวลน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 18 b) คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 18 c)

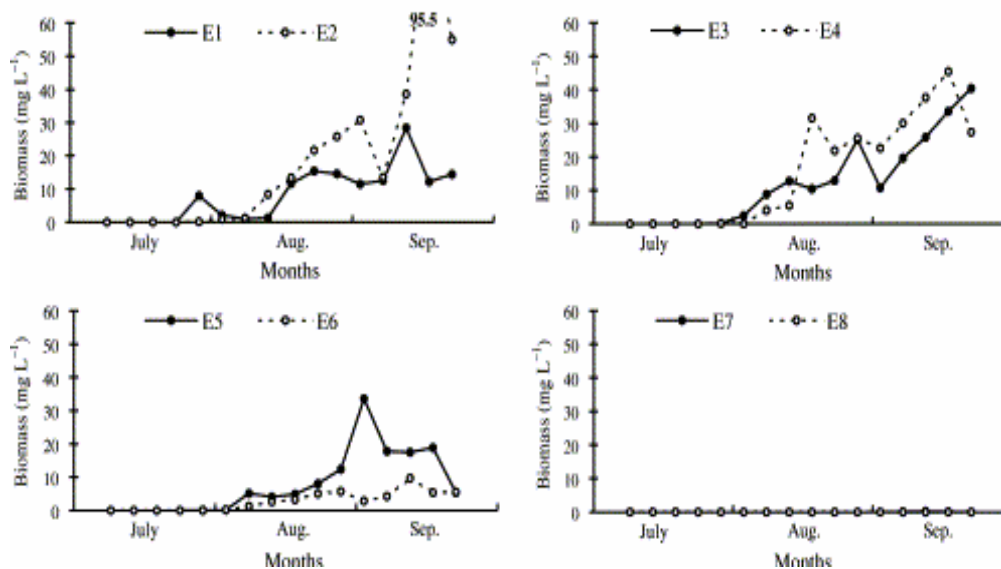
อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักร่งสูงสุด และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ (ภาพที่ 18 d) เพิ่มขึ้น Saadoun *et al.* (2001) นอกจากนี้ Yusoff *et al.* (2001) ได้ทดลองสกัดตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งและ น้ำน้ำที่ได้จากการสกัดมาเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* พบว่าสาหร่ายสามารถ เจริญเติบโตได้ดี เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำที่สกัดพบว่ามีปริมาณฟอสเฟต 25.98 มิลลิกรัมต่อ ลิตร และปริมาณไนโตรเจน 65.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณธาตุอาหารมีมากพอต่อการ เจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria*



ภาพที่ 18 ผลของฟอสเฟตต่อ (a) การสังเคราะห์ geosmin (b) มวลน้ำหนักร่ง (c) คลอโรฟิลล์-เอ (d) อัตราส่วน geosmin/มวลน้ำหนักร่ง และ geosmin/คลอโรฟิลล์-เอ ของสาหร่าย *Anabaena sp.*

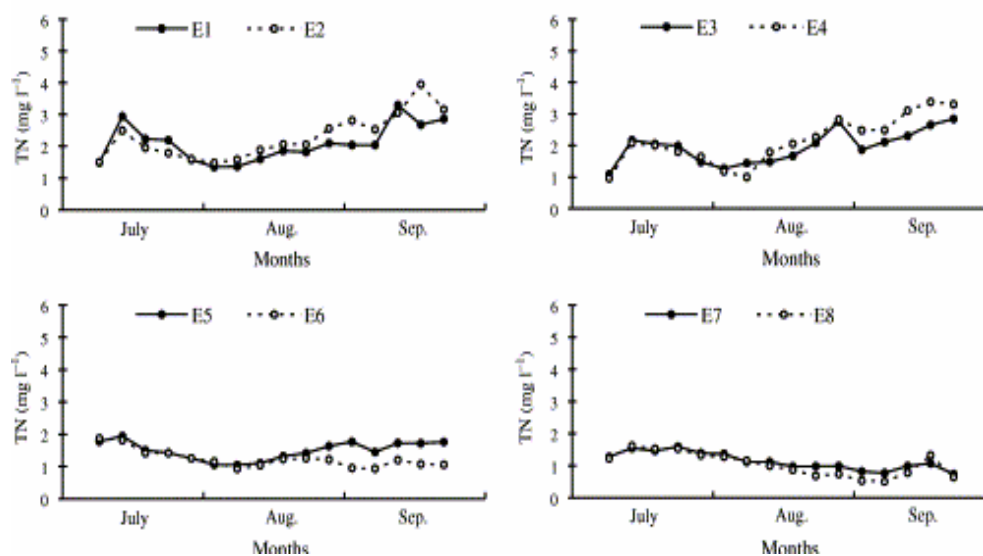
ที่มา: Saadoun *et al.* (2001)

การปล่อยฟอสเฟตจากตะกอนดินสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งในช่วงที่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงทำให้อัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟต (TN:TP ratio) มีอัตราส่วนต่ำกว่า 29 (Havens *et al.*, 2003; Xie *et al.*, 2003 b) และพบว่า ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ถ้าปริมาณฟอสเฟตลดลงจนอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตมีอัตราส่วนมากกว่า 29 ก็จะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง และจะพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินน้อยมากถ้ามีปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตน้อยถึงแม้ว่าจะมีอัตราส่วนไนโตรเจนกับฟอสเฟตจะมีอัตราส่วนมากกว่า 29 (Xie *et al.*, 2003 b) ดังนั้น อัตราส่วนของ TN:TP น่าจะเป็นดัชนีบอกแนวโน้มการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ได้ทางหนึ่ง (ภาพที่ 19, 20, 21 และ 22)



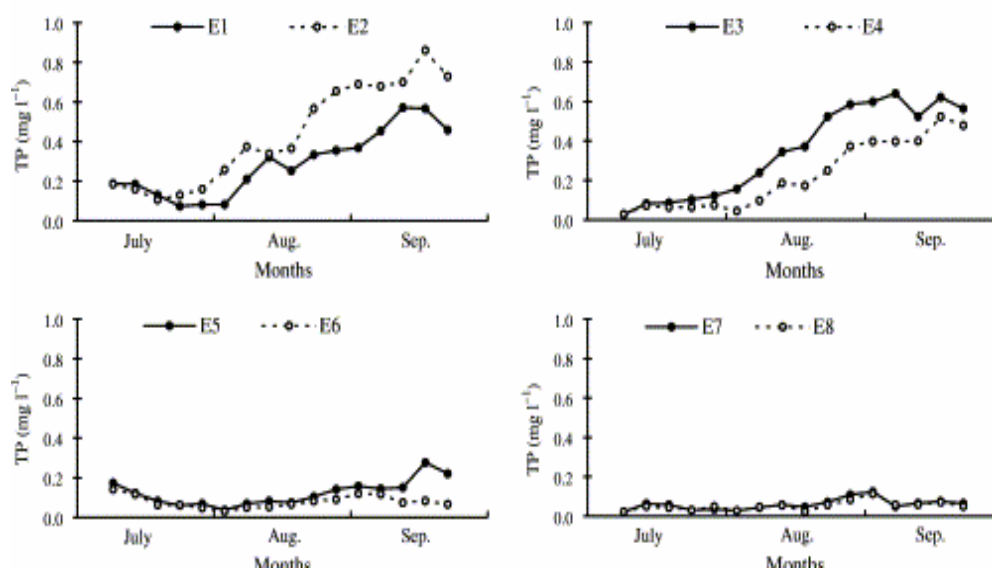
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพปริมาณไนโตรเจน ฟอสเฟต และอัตราส่วนของ N:P ที่แตกต่างกัน

ที่มา: Xie *et al.* (2003 b)



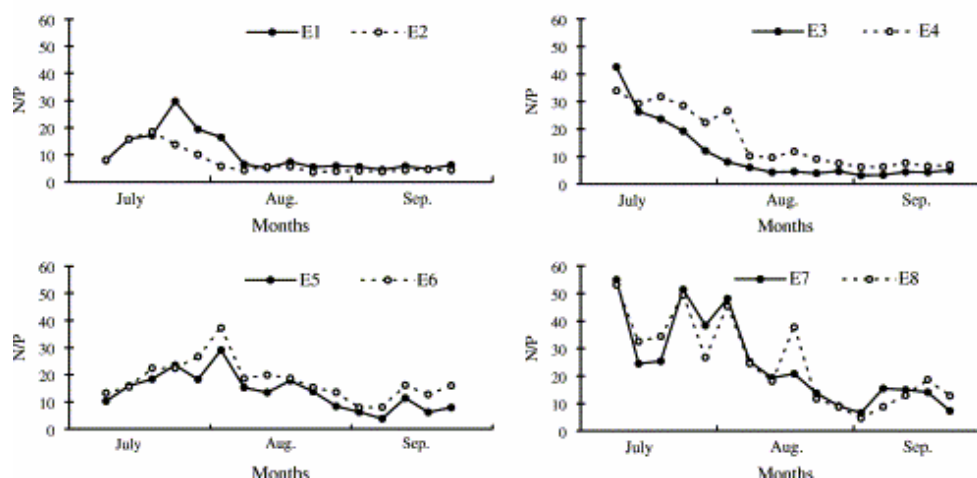
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ที่มา: Xie *et al.* (2003 b)



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

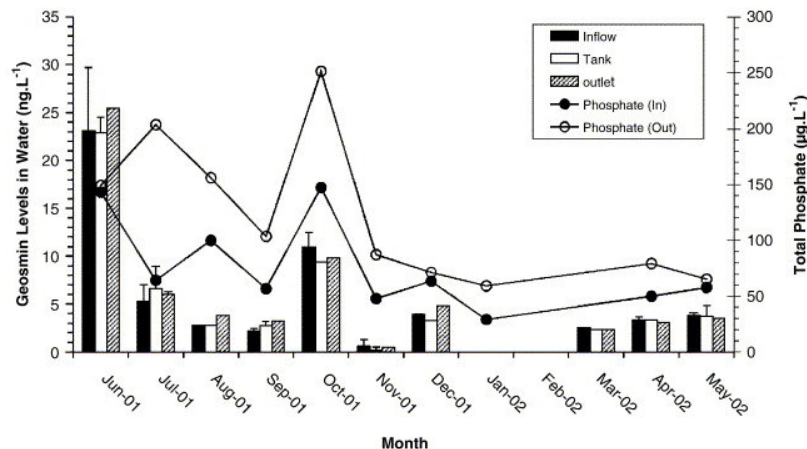
ที่มา: Xie *et al.* (2003 b)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน N/P ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ที่มา: Xie *et al.* (2003 b)

ปัจจัยต่างๆ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแล้ว ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสยังมีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์-เอ และปริมาณ geosmin โดยจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณ geosmin กับคลอโรฟิลล์-เอ และพบว่าในน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า $118 \mu\text{g/L}$ จะวิเคราะห์ไม่พบปริมาณ geosmin (ภาพที่ 18 a) ในสาหร่าย *Anabaena* sp. (Saadoun *et al.*, 2001) ซึ่งปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อาจใช้เป็นปัจจัยบอกแนวโน้มการสังเคราะห์ geosmin และคลอโรฟิลล์ได้ (Davies *et al.*, 2004) นอกจากนี้ Robertson *et al.* (2006) พบว่าการเปลี่ยนปริมาณ geosmin จะเปลี่ยนตามปริมาณฟอสเฟต (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดกับปริมาณ geosmin ในน้ำบ่อเลี้ยงปลา trout
ที่มา: Robertson *et al.* (2006)

5. การเกิดกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

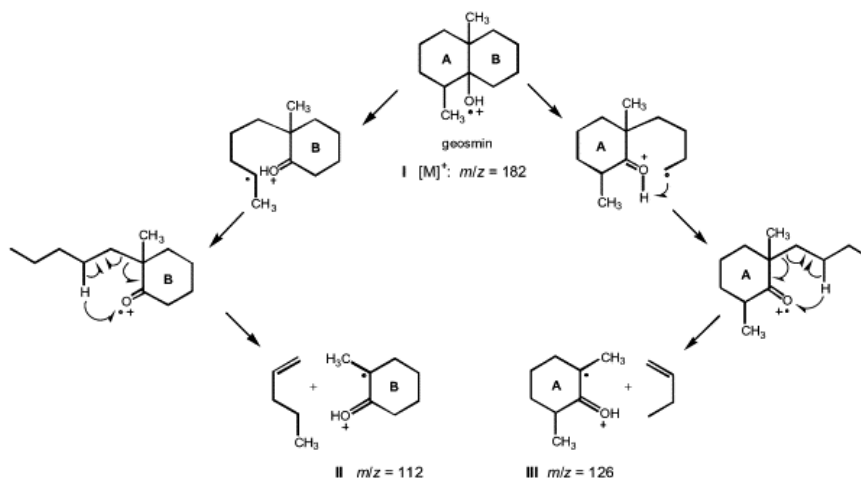
การเลี้ยงสัตว์น้ำจืดหรือสัตว์ทะเลที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ บ่อยครั้งจะพบปัญหาคุณภาพสัตว์น้ำ เรื่องกลิ่นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในบ่อเลี้ยงที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลน เช่น แบคทีเรียสกุล *Actinomycetes*, *Streptomyces*, *Fossombronina*, *Nocardia* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Symploca* และ *Phormidium* ที่สามารถสร้างสาร geosmin (trans - 1, 10 - dimethyl - trans - 9 - decalol) และ 2 - methylisoborneol (1, 2, 7, 7 - tetramethyl - exo - bicyclo - [2,2,1] - heptan - 2 - ol หรือ MIB) ที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในน้ำ ในสัตว์น้ำและอาหาร ปริมาณ geosmin จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแต่ละชนิด (Jones and Wolfgang, 1995; Hu and Chiang, 1996; Durrer *et al.*, 1999) และสามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อสัตว์น้ำเข้าไปสะสมภายในส่วนต่างๆ ของสัตว์น้ำ ปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนที่พบบ่อยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มักจะมีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถสร้างสาร geosmin หรือ MIB ได้ หลังจากนั้นจะมีการตายของสาหร่ายและเกิดการย่อยสลายซากสาหร่ายเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง (Krom and Neori, 1989) และเกิดกลิ่นเหม็นในบ่อเลี้ยงมีผลทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ สัตว์น้ำที่พบปัญหากลิ่นโคลน เช่น ปลา bream (*Abramis brama*) ปลา

carp (*Cyprinus carpio*) ปลา walleye (*Stizostedion vitreum*) และ ปลา lake herring (*Coregonus artedii*) ส่วนปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) เป็นปลาที่มีการศึกษาปัญหาการเกิดกลิ่นโคลนจากสาร geosmin และ MIB กันมาก เนื่องจากเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจนิยมเลี้ยงกันมากในหลายมลรัฐทางภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในบ่อเลี้ยงที่เนื้อปลามีกลิ่นโคลนราคาปลาจะต่ำกว่าปกติมาก (Lovell and Broce, 1985; Lorio *et al.*, 1992; Jones and Wolfgang, 1995; Hu and Chiang, 1996; Schrader *et al.*, 1998; Sugiura *et al.*, 1998; Tucker and Ploeg, 1999; Walker and Higginbotham, 2000; Saadoun *et al.*, 2001; Zimba and Grimm, 2002) สำหรับสัตว์น้ำในประเทศไทยที่พบว่ามีอาการเกิดกลิ่นโคลนบ่อยครั้ง เช่น ปลาสวาย (*Pangasius sutchi*) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) กุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) ที่เลี้ยงในน้ำจืด กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่ำ เป็นต้น

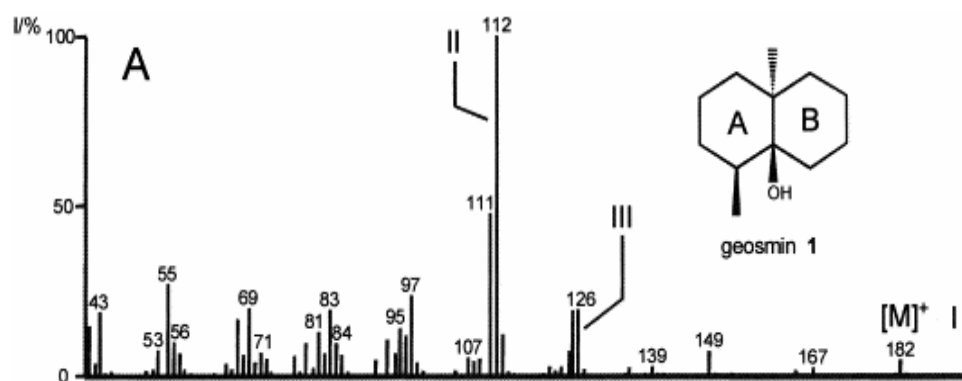
6. การทดสอบกลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ

วิธีการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบกลิ่นโคลนสามารถทำได้โดยใช้ประสาทสัมผัสชิมรส (sensory evaluation) (Persson, 1980; Lorio *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 2002; Robin *et al.*, 2006) หรือใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณ geosmin โดยเครื่อง Gas Chromatograph/Mass Spectrophotometry (GC/MS) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณ geosmin และ MIB ได้ในระดับความเข้มข้น ng/L และมีการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณ geosmin ต่างๆ กัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ geosmin ด้วยเครื่อง GC/MS จะได้ quantitative ions (m/z) มีค่า 112, 126 และ 182 ดังภาพที่ 24 และ 25 (Martin *et al.*, 1992; Farmer *et al.*, 1995; Sunesson *et al.*, 1995; Nilsson *et al.*, 1996; Bao *et al.*, 1997; Zander and Pingert, 1997; Lloyd *et al.*, 1998; Palmentier *et al.*, 1998; Saito *et al.*, 1999; Zhu *et al.*, 1999; Watson *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002; Nakamura and Daishima, 2005; Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006) และสามารถแสดง chromatograms ในการวิเคราะห์ของสารต่างๆ ดังภาพที่ 26 การวิเคราะห์ geosmin มีปัจจัยต่างๆ ที่ต้องควบคุม เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ อุณหภูมิ และความดัน ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 28 (Sung *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006) จากการศึกษาของ Lovell and Broce (1985) พบว่าปริมาณ geosmin 78 ug/kg เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง การศึกษากลิ่นโคลนในสัตว์น้ำ มีการศึกษากันแพร่หลายในปลา โดยการเปรียบเทียบกลิ่นโคลนที่ทดสอบโดยใช้วิธีประสาทสัมผัส

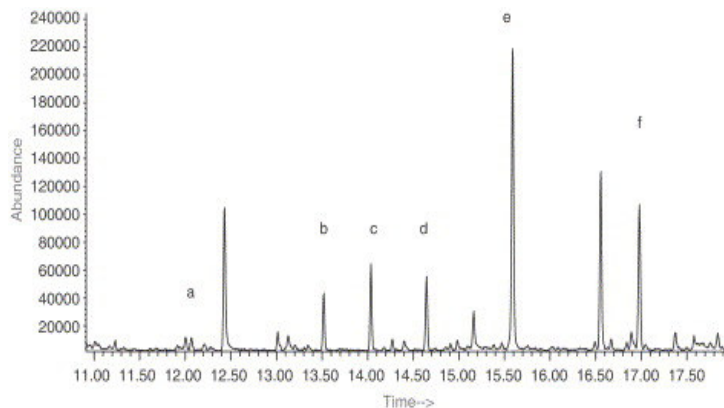
ชิมรสกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณ geosmin โดยเครื่อง GC/MS เช่น ในปลา rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) การประเมินกลิ่นโคลนโดยใช้วิธีประสาทสัมผัสไม่มีกลิ่นโคลนเมื่อปริมาณ geosmin น้อยกว่า $1.12 \pm 0.38 \mu\text{g/kg}$ (Robin *et al.*, 2006) ดังตารางที่ ส่วน Robertson *et al.* (2005) พบว่า ปลา rainbow trout ที่มีปริมาณ geosmin น้อยกว่า $0.9 \mu\text{g/kg}$ จะทำให้ไม่มีกลิ่นโคลนในเนื้อปลา



ภาพที่ 24 รูปแบบโครงสร้างของ geosmin I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$
ที่มา: Spiteller *et al.* (2001)

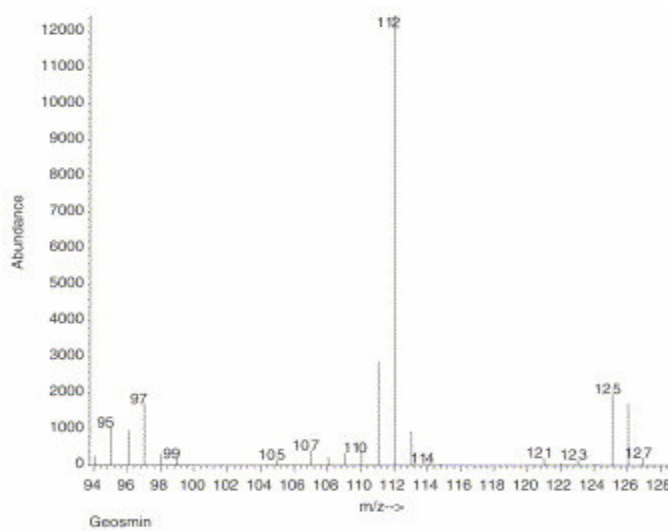


ภาพที่ 25 mass spectrum ของ geosmin ที่แตกตัว I) $m/z = 182$, II) $m/z = 112$ และ III) $m/z = 126$
ที่มา: Spiteller *et al.* (2002)



ภาพที่ 26 chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin (d)

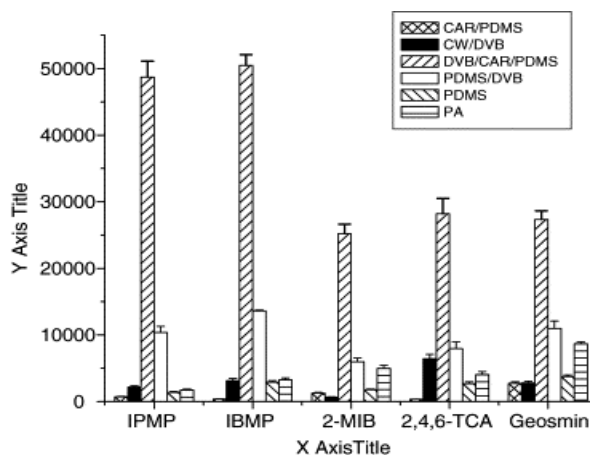
ที่มา: Zhang *et al.* (2006)



ภาพที่ 27 mass spectrum ของ geosmin

ที่มา: Zhang *et al.* (2006)

การตรวจสอบกลิ่นโคลนโดยทั่วไปจะใช้วิธีประสาทสัมผัสชิมรส ซึ่งจะมีผู้ทดสอบที่มีความชำนาญทดสอบตัวอย่างและให้ระดับคะแนนในการทดสอบ แต่นักวิจัยหลายกลุ่มที่มีการศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ปริมาณ geosmin ทั้งสองวิธีการดังตารางที่ 1



ภาพที่ 28 ประสิทธิภาพของ SPME fiber แต่ละชนิดในการวิเคราะห์ปริมาณ geosmin 50 ng/L

ที่มา: Sung *et al.* (2005)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกลิ่นโคลนโดยวิธีประสาทสัมผัสกับปริมาณ geosmin ในปลา rainbow trout

ระดับกลิ่น	ระดับรับสัมผัส	ปริมาณ geosmin ($\mu\text{g/kg}$)
ไม่มีกลิ่นโคลน	< 3	1.12 ± 0.38^a
มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย	≥ 3 และ < 4	1.36 ± 0.62^a
มีกลิ่นโคลนปานกลาง	≥ 4 และ < 5	1.32 ± 0.59^a
มีกลิ่นโคลนมาก	≥ 5 และ < 6	2.27 ± 0.66^{ab}
มีกลิ่นโคลนมากที่สุด	≥ 6	4.18 ± 0.52^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์ปริมาณ geosmin แสดงว่า แตกต่างกันอย่างสถิติ ($P < 0.05$)

ระดับรับสัมผัส เริ่มจาก 0 (ไม่มีกลิ่นโคลน) ถึง 7 (มีกลิ่นโคลนมากที่สุด)

ที่มา: Robin *et al.* (2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์เลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำ *Oscillatoria* และ *Microcystis*
 - 1.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วและถังเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis*
 - 1.2 เครื่องให้อากาศ พร้อมอุปกรณ์
 - 1.3 กล้องจุลทรรศน์ (microscope ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eclopse E200)
 - 1.4 อาหารเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* สูตร BG-11 medium
 - 1.5 อาหารเลี้ยงสาหร่าย *Microcystis* สูตร Allen blue-green medium, modified
2. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดิน และตะกอนดิน
 - 2.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และตะกอนดิน
 - 2.2 เครื่องแก้ววิเคราะห์น้ำ ดิน และตะกอนดิน
 - 2.3 เครื่องวัดการหักเหของแสง (hand-held reflectrometer ยี่ห้อ Atago รุ่น s/Mill E)
 - 2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer ยี่ห้อ Orion รุ่น model 710A)
 - 2.5 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter ยี่ห้อ Orion รุ่น model 710A)
 - 2.6 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal ยี่ห้อ Hettich รุ่น Rotofix 32)
 - 2.7 เครื่องวัดความยาวคลื่นแสง (spectrophotometer ยี่ห้อ MiltonLoy รุ่น spectro 401)
 - 2.8 เครื่องกรองน้ำสุญญากาศ (vacuum pump and compressor 1 HP)
 - 2.9 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath ยี่ห้อ memmert)
3. อุปกรณ์วิเคราะห์สาร geosmin
 - 3.1 เครื่อง GC/MS (gas-massspectrum) Agilent technologies 6890N network GC system/Agilent technologies 5973 network mass selective detector
 - 3.2 column HP-5 (30 m x 0.25 mm ID x 0.25 μ m)
 - 3.3 column SPME (solid phase micro-extraction) supelco 57330-u
 - 3.4 SPME fiber divinylbenzen / carboxen / polydimethylsiloxane supelco 57550-u
 - 3.5 สารละลายมาตรฐาน geosmin (trans-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol) ของ sigma

วิธีการ

1. ศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล

Oscillatoria และ *Microcystis*

1.1 สํารวจบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (ภาพผนวกที่ 1-6) ที่เลี้ยงในสภาพน้ำความเค็มต่ำในเขตพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี เลือกบ่อเลี้ยงที่มีการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* (ภาพผนวกที่ 5) และ *Microcystis* (ภาพผนวกที่ 6) อย่างรวดเร็ว เก็บรวบรวมสาหร่าย (ภาพผนวกที่ 7) ทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ถุงกรองพลาสติกตอขนาด 20 ไมโครเมตร เพื่อให้ได้ปริมาณเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่มีความหนาแน่น ปริมาตรประมาณ 1 ลิตร หลังจากนั้นเก็บรักษาเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส นำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อแยก *Oscillatoria* และ *Microcystis* ให้บริสุทธิ์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพผนวกที่ 8) ขยายให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการทดลอง (ภาพผนวกที่ 11, 12, 15 และ 16) เพื่อหาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis*

1.2 เตรียมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยนำน้ำตัวอย่างที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีความเค็มต่ำและมีการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* อย่างรวดเร็ว จากฟาร์มเกษตรกรรมแยกเซลล์ *Oscillatoria* (ภาพผนวกที่ 9, 10) และ *Microcystis* (ภาพผนวกที่ 13, 14) ให้บริสุทธิ์โดยเลี้ยง *Oscillatoria* ในอาหารสูตร BG-11 medium และ *Microcystis* ในอาหารสูตร Allen blue-green medium หลังจากนั้นเลี้ยงเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการทดลอง

1.3 ศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะทำการศึกษาปัจจัยความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ส่วนปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจะวางแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟกทอเรียล ในการศึกษาจะใช้ผลวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis*

1.3.1 ศึกษาปัจจัยความเค็ม โดยนำ *Oscillatoria* และ *Microcystis* มาเลี้ยงเพื่อทดลองหาช่วงความเค็มเบื้องต้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ซึ่ง *Oscillatoria* จะ

เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0-30 พีพีที และ *Microcystis* อยู่ในช่วง 0-18 พีพีที หลังจากนั้นแบ่งช่วงความเค็มจากการทดลองเบื้องต้นเป็น 7 ชุดการทดลอง โดยเลี้ยง *Oscillatoria* ในน้ำที่มีระดับความเค็ม 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 พีพีที (ภาพผนวกที่ 17) ส่วน *Microcystis* จะทดลองเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็ม 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 พีพีที ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และควบคุมระดับความเค็มระหว่างการทดลอง โดยวิเคราะห์ความเค็มด้วยเครื่องวัดการหักเหของแสง และปรับความเค็มให้ได้ระดับความเค็มในแต่ละชุดการทดลอง สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ด้วยตาเปล่าและภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุกวัน เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทุกๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 10 วัน

1.3.2 ศึกษาปัจจัยความเป็นกรด-ด่าง โดยนำ *Oscillatoria* และ *Microcystis* มาเลี้ยงเพื่อทดลองหาช่วงความเป็นกรด-ด่างเบื้องต้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ซึ่ง *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 3-12 (ภาพผนวกที่ 18) หลังจากนั้นแบ่งช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นเป็น 9 ชุดการทดลอง โดยเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5 และ 12.0 โดยมีชุดการทดลองควบคุมที่ไม่ได้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และชุดการทดลองที่ไม่ได้เติม *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และควบคุมความเป็นกรด-ด่างระหว่างการทดลอง โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง และปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ระดับในแต่ละชุดการทดลองทุกวัน โดยใช้ NaOH ปรับความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้น และ H_2SO_4 ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำลง สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ด้วยตาเปล่าและภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุกวัน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทุกๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 10 วัน

1.3.3 การศึกษาปัจจัยสารแขวนลอยในน้ำ นำ *Oscillatoria* และ *Microcystis* มาเลี้ยงเพื่อทดลองหาช่วงปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเบื้องต้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ซึ่ง *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่มีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ 0-25 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 17) หลังจากนั้นแบ่งช่วงปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นเป็น 7 ชุดการทดลอง โดยเลี้ยง *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่ระดับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ 0, 5, 10, 15, 20, 25 กรัมต่อลิตร และที่ระดับตะกอนดินแขวนลอยในน้ำ 5 กรัมต่อลิตร โดยไม่เติม *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เก็บ

ตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ และวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทุกๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 28 วัน

1.3.4 การศึกษาปัจจัยไนโตรเจน และฟอสฟอรัส นำ *Oscillatoria* มาเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 medium (Rippka *et al.*, 1979) และ *Microcystis* เลี้ยงในอาหารสูตร Allen blue-green medium (Allen and Nelson, 1910) ที่ปรับปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ เพื่อทดลองหาช่วงปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเบื้องต้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต ซึ่ง *Oscillatoria* จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่มีปริมาณไนโตรเจน 0.000-1.500 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 0.000-1.000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ *Microcystis* เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่มีปริมาณไนโตรเจน 0.000-1.000 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 0.0-1.000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพผนวกที่ 19) การทดลองวางแผนแบบ 5x5 แฟคทอเรียล (ตารางที่ 2, 3) เพื่อศึกษาอิทธิพลรวมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยแบ่งชุดการทดลอง ดังตารางที่ 1 และ 2 ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ด้วยตาเปล่าและภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทุกวัน เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ทุกๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 12 วัน

ตารางที่ 2 แสดงแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟคทอเรียล โดยมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยร่วมกับ ฟอสฟอรัส ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria*

ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	ไนโตรเจน (มก./ล.)				
	0.000	0.250	0.500	1.000	1.500
0.000	0.000, 0.000	0.000, 0.250	0.000, 0.500	0.000, 1.000	0.000, 1.500
0.250	0.250, 0.000	0.250, 0.250	0.250, 0.500	0.250, 1.000	0.250, 1.500
0.500	0.500, 0.000	0.500, 0.250	0.500, 0.500	0.500, 1.000	0.500, 1.500
0.750	0.750, 0.000	0.750, 0.250	0.750, 0.500	0.750, 1.000	0.750, 1.500
1.000	1.000, 0.000	1.000, 0.250	1.000, 0.500	1.000, 1.000	1.000, 1.500

ตารางที่ 3 แสดงแผนการทดลองแบบ 5x5 แฟกทอเรียล โดยมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยร่วมกับ
ฟอสฟอรัส ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Microcystis*

ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	ไนโตรเจน (มก./ล.)				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.000
0.00	0.000, 0.000	0.000, 0.015	0.000, 0.030	0.000, 0.125	0.000, 1.000
0.25	0.015, 0.000	0.015, 0.015	0.015, 0.030	0.015, 0.125	0.015, 1.000
0.50	0.030, 0.000	0.030, 0.015	0.030, 0.030	0.030, 0.125	0.030, 1.000
0.75	0.125, 0.000	0.125, 0.015	0.125, 0.030	0.125, 0.125	0.125, 1.000
1.000	1.000, 0.000	1.000, 0.015	1.000, 0.030	1.000, 0.125	1.000, 1.000

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในแต่ละปัจจัยคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์-เอแต่ละชุดการทดลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS 10.0 for window เพื่อหาระดับปริมาณของแต่ละปัจจัยคุณภาพน้ำ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis*

2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมกับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

2.1 เลือกบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ที่เลี้ยงด้วยน้ำที่มีความเค็มต่ำในเขตพื้นที่จังหวัด ฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี จำนวน 10 บ่อ เก็บตัวอย่างดินบ่อละ 3 จุด (ภาพผนวกที่ 20, 21) ตะกอนดิน (ภาพผนวกที่ 22, 23) ตัวอย่างน้ำเหนือน้ำและใต้ผิวน้ำ และกรองน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เก็บรักษาตัวอย่างในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง อุณหภูมิภายในกล่องโฟมประมาณ 4 องศาเซลเซียส นำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ตะกอนดิน น้ำ และความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis*

2.2 ศึกษาคุณสมบัติของดิน โดยนำตัวอย่างดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เก็บรักษา และนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ประเภทของเนื้อดิน (soil texture) ปริมาณไนโตรเจน (total nitrogen) และ ปริมาณฟอสเฟต (phosphate) ตามวิธีของ Lim and Sugahara (1984)

2.3 ศึกษาคุณสมบัติของตะกอนดิน โดยนำตัวอย่างตะกอนดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เก็บรักษา และนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสเฟตตามวิธีของ Swingle (1969) และ Lim and Sugahara (1984)

2.4 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำ โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมบริเวณเหนือลม และใต้ลม และนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ อุณหภูมิ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณออร์โธฟอสเฟต และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ตามวิธีของ APHA *et al.* (1995) Swingle (1969) และ Lim and Sugahara (1984) ดังต่อไปนี้

2.4.1 วิเคราะห์ความเค็ม โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมา วิเคราะห์ความเค็มด้วยเครื่องวัดการหักเหของแสง

2.4.2 วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยง วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างก่อนนำตัวอย่างน้ำกลับมาห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

2.4.3 วิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยโดยใช้วิธี total suspended solids dried ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (APHA *et al.*, 1995) ตวงตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม 50 มิลลิลิตร ใส่ใน crucible ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก crucible เริ่มต้น นำไปประเหยให้แห้งในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 95 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก และนำข้อมูลไปคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times 1000}{V}$$

50

A = น้ำหนัก crucible รวมกับน้ำหนักสารแขวนลอย

B = น้ำหนัก crucible

2.4.4 วิเคราะห์อุณหภูมิ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงวัดอุณหภูมิ น้ำ ก่อนนำตัวอย่างน้ำกลับมาห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ

2.4.5 วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ตามวิธีของ APHA *et al.* (1995)

2.4.6 วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนใช้วิธี phenate method (PHA *et al.*, 1995) โดยตวงตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม 25 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย phenol 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน เติมน้ำละลาย sodium nitroprusside 2 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน เติมน้ำละลาย oxidizing 5 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน ปิดปาก flask ด้วย aluminum foil ตั้งทิ้งไว้ 1-24 ชั่วโมง จะได้สารละลายสีน้ำเงิน นำไปหาค่า absorbance ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร นำค่า absorbance ของตัวอย่างน้ำที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยเปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

2.4.7 วิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนใช้วิธี phenate method (PHA *et al.*, 1995) โดยกรองตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมผ่านกระดาษกรอง และตวงตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรอง 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ buffer solution 5 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน เติมน้ำ sulphanilamide solution 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที เติมน้ำ NNED solution 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน ปิดปาก flask ด้วย aluminum foil ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที - 2 ชั่วโมง จะได้สารละลายจะเป็นสีบานเย็นหรือชมพู นำไปหาค่า absorbance ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร นำค่า absorbance ของตัวอย่างน้ำที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนโดยเปรียบเทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานของไนไตรท์-ไนโตรเจน

2.4.8 วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ตามวิธีของ APHA *et al.* (1995)

2.4.9 วิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟส โดยนำตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม มาวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟส ตามวิธีของ APHA *et al.* (1995)

2.4.10 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ โดยกรองตัวอย่างน้ำผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/C สกัดด้วย acetone 90 เปอร์เซนต์ เก็บในภาชนะทึบแสงและเก็บรักษาในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน นำตัวอย่างไป centrifugal ด้วยความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แยกส่วนใสด้านบนออก นำไปวัดค่า optical density ด้วยเครื่อง spectrophotometer รุ่น Mitonroy ที่ความยาวคลื่น 630, 645, 667 และ 750 นาโนเมตร และนำค่า OD ที่ได้มาคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ

2.5 วิเคราะห์ความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยกรองตัวอย่างน้ำและเก็บรักษาเซลล์แพลงก์ตอนด้วย Lugol's solution นำตัวอย่างมาตรวจนับจำนวนและคำนวณความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*

2.6 นำข้อมูลคุณสมบัติของน้ำ ดิน และตะกอนดิน มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับปริมาณ geosmin และกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

3.1 สํารวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำในเขตพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราและปราจีนบุรีใช้บ่อทดลองจำนวน 10 บ่อ เก็บตัวอย่างน้ำกรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนและเก็บรักษาเซลล์แพลงก์ตอนด้วย Lugol's solution สุ่มกุ้งขาวแวนนาไมจากบ่อที่กรองตัวอย่างน้ำจำนวน 10 ตัว/บ่อ โดยใช้แห (ภาพผนวกที่ 24, 25, 26) เก็บรักษาตัวอย่างแพลงก์ตอนและกุ้งขาวแวนนาไมในกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง อุณหภูมิภายในกล่องโฟมประมาณ 4 องศาเซลเซียส และนำกลับมาที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อนับจำนวนและคำนวณความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่นำมาแยกให้บริสุทธิ์ และในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม ด้วยเครื่อง GC/MS และวิเคราะห์กลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม โดยใช้วิธีประสาทสัมผัสชิมรส (sensory evaluation) (Persson, 1980; Lorio

et al., 1992; Silva *et al.*, 2002) เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณ *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับ ปริมาณ geosmin และกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

3.2 วิเคราะห์ความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยนำตัวอย่างน้ำที่กรองจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมาตรวจนับความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ด้วยวิธีการเดียวกับ ข้อ 2.4

3.3 เตรียมกราฟและสมการความเข้มข้นมาตรฐานของ geosmin โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry นำสารละลายมาตรฐาน geosmin (sigma) ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่มี methanol เป็นตัวทำละลาย เตรียมสารละลายมาตรฐาน geosmin (ภาพผนวกที่ 30) ให้ได้ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัม/ลิตร เจือจางด้วย deionized water ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน geosmin 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร ใช้ micropipette ดูดสารละลายมาตรฐาน geosmin แต่ละความเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial สีขา ขนาด 40 มิลลิลิตร (ภาพผนวกที่ 31) ปิดด้วยฝาที่มี septum ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม นำไปสกัดด้วย column SPME (solid phase micro-extraction) supelco 57330-u USA โดยใช้ SPME fiber divinylbenzen/carboxen/polydimethyl siloxane supelco 57550-u USA (ภาพผนวกที่ 32, 33, 34) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมทั้งกวนสารละลายตลอดการสกัด หลังจากนั้นนำก๊าซที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ทันทีด้วย เครื่อง GC/MS Agilent technologies 6890N network GC system/Agilent technologies 5973 network mass selective detector (ภาพผนวกที่ 27, 28, 29) โดยใช้ column HP-5 (30m x 0.25 mm ID x 0.25 μ m) ปรับอุณหภูมิเริ่มต้นในการวิเคราะห์ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6.13 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียส/นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 250 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส/นาที นำค่าข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปสร้างกราฟและคำนวณหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน geosmin กับ corrected area (ภาพผนวกที่ 35-36) เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณ geosmin ในตัวอย่างที่วิเคราะห์

3.4 วิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry เตรียมเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่ความหนาแน่น 0, 10^2 , 10^4 และ 10^6 เซลล์/มิลลิลิตร นำเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* แต่ละความหนาแน่น ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ไป centrifugal ให้ตกตะกอน หลังจากนั้นดูดน้ำใสด้านบนออก 35 มิลลิลิตร นำเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บดให้ละเอียด และเติม methanol 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย deionized water ให้ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial สีชาขนาด 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม และนำไปสกัดด้วย column SPME และวิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ด้วยเครื่อง GC/MS ตามวิธีการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน geosmin

3.5 วิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry นำเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมที่สุ่มมาจากบ่อเลี้ยงและเก็บรักษาแช่แข็งก่อนนำมาวิเคราะห์โดยชั่งน้ำหนักเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม 10 กรัม บดให้ละเอียด เติม methanol 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย deionized water ให้ได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวด vial สีชาขนาด 40 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาที่มี septum ก่อนการวิเคราะห์เติม NaCl 5 กรัม และนำไปสกัดด้วย column SPME และวิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry ตามวิธีการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน geosmin นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ไปคำนวณปริมาณ geosmin โดยเปรียบเทียบกับกราฟและสมการความเข้มข้นมาตรฐานของ geosmin

3.6 วิเคราะห์กลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม โดยวิธีประสาทสัมผัสชิมรส นำเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมที่สุ่มมาจากบ่อเลี้ยงและเก็บรักษาแช่แข็งก่อนนำมาวิเคราะห์ ชั่งน้ำหนักชิ้นละ 10 ± 1 กรัม และนำไปอบด้วยไมโครเวฟ เป็นเวลา 3 นาที ให้ผู้ที่ผ่านการฝึกทดสอบกลิ่นสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20 ไมโครกรัม/ลิตร จนมีความชำนาญ โดยให้ผู้ทดสอบชิมรสเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมที่อบ และให้ระดับคะแนนกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งแบ่งระดับคะแนนเป็น

ไม่มีกลิ่นโคลน	< 1
มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย	≥ 1 และ < 2
มีกลิ่นโคลนปานกลาง	≥ 2 และ < 3
มีกลิ่นโคลนมาก	≥ 3 และ < 4
มีกลิ่นโคลนมากที่สุด	≥ 4

3.7 หาความสัมพันธ์ของเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในน้ำจากบ่อเลี้ยง กับ ปริมาณ geosmin และกลีโคไลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม โดยนำข้อมูลมาคำนวณหาความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับปริมาณ geosmin และกลีโคไลนใน เนื้อกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อหาระดับความหนาแน่นของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* และปริมาณ geosmin ที่ไม่มีผลต่อกลีโคไลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อทดสอบโดยวิธีประสาทสัมผัสชิมรส

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล

Oscillatoria และ *Microcystis*

ผลการศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่แยกมาจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีความเค็มต่ำ และควบคุมระดับความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน) และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (Renolds, 1990) พบว่า ปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* แตกต่างกัน

1.1 ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* ความเค็มเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะขึ้นอยู่กับระดับความเค็มและชนิดของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยพบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* มีการเจริญเติบโตได้ดีในน้ำความเค็ม 0-10 พีพีที และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเค็ม 5 พีพีที ส่วนน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 15 พีพีที จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และการเจริญเติบโตจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเค็มมากกว่า 20 พีพีที (ตารางที่ 4, ภาพที่ 31) นอกจากนี้จะสังเกตเห็น *Oscillatoria* รวมตัวจับเป็นกลุ่มเกาะติดกับภาชนะ (ภาพที่ 30) เมื่อมีความเค็มมากกว่า 10 พีพีที ต่างจากลักษณะของ *Oscillatoria* ที่มีความเค็มต่ำกว่า 10 พีพีที (ภาพที่ 29) ส่วน *Microcystis* เจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็ม 0-9 พีพีที และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเค็ม 0 พีพีที ส่วนน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 3 พีพีที จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis* และลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเค็มมากกว่า 15 พีพีที (ตารางที่ 5, ภาพที่ 32) เนื่องจากความเค็มปัจจัยที่ทำให้สมดุลของอออนภายในเซลล์ผิดปกติ และส่งผลไปยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ลดอัตราการดึงไนโตรเจนมาใช้ และทำให้การทำงานของเอนไซม์ alkaline phosphatase (Herbst and Blinn, 1998; Fu and Bell, 2003) รวมทั้งการเกิด nitrogenase activity (Rai *et al.*, 2001) ของสาหร่ายลดลง นอกจากนี้ Parker *et al.* (1997) พบว่า เกลือโพแทสเซียมความเข้มข้น 5 มิลลิโมล สามารถที่จะ

ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis* ได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับความเค็มมีผลต่อการควบคุมยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดต่างกัน



ภาพที่ 29 ลักษณะเส้นสายของ *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในความเค็มน้อยกว่า 10 พีพีที



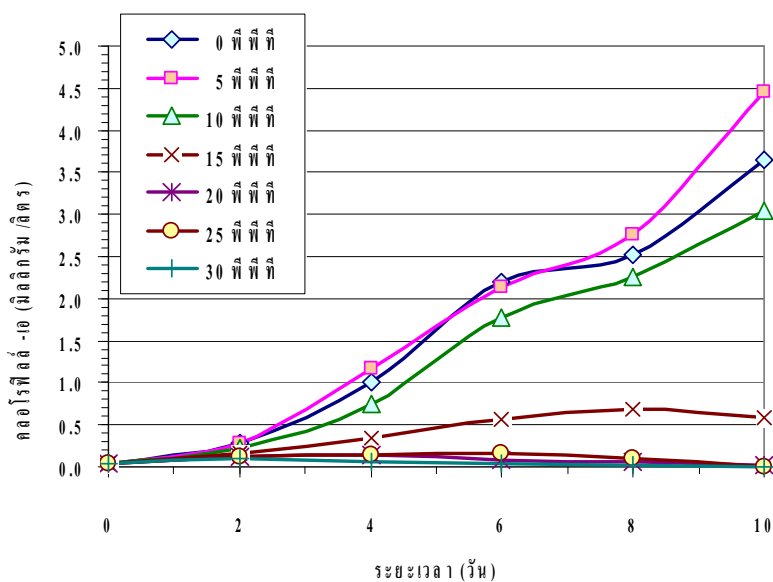
ภาพที่ 30 ลักษณะเส้นสายของ *Oscillatoria* จับกันเป็นกลุ่มในความเค็มสูงกว่า 15 พีพีที

ตารางที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (พีพีที)	เวลา (วัน)					
	0	2	4	6	8	10
0	45±2 ^a	286±45 ^a	1,005±194 ^a	2,204±524 ^a	2,512±840 ^a	3,649±886 ^a
5	45±3 ^a	282±44 ^a	1,178±213 ^a	2,134±145 ^a	2,758±478 ^a	4,455±435 ^a
10	50±2 ^a	222±17 ^{ab}	750±48 ^{ab}	1,784±429 ^a	2,261±622 ^a	3,046±712 ^a
15	50±2 ^a	171±22 ^b	341±187 ^b	555±244 ^b	690±512 ^b	587±383 ^b
20	45±2 ^a	115±10 ^c	146±78 ^c	75±63 ^c	60±36 ^c	24±18 ^c
25	50±3 ^a	123±16 ^c	135±50 ^c	159±80 ^c	91±85 ^c	4±4 ^c
30	45±2 ^a	95±31 ^c	56±56 ^d	48±48 ^c	28±28 ^c	0±0 ^c

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในแนวดังเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในแนวดังเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



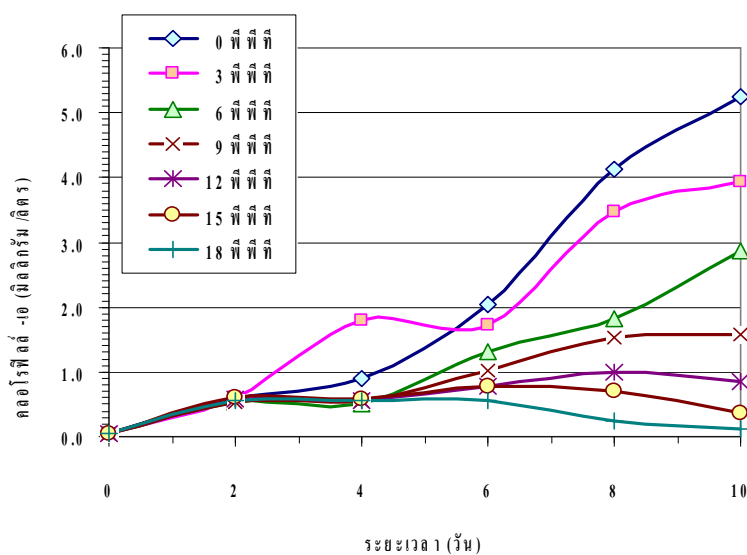
ภาพที่ 31 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ตารางที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ความเค็ม (พีพีที)	เวลา (วัน)					
	0	2	4	6	8	10
0	55±3 ^a	595±48 ^a	908±56 ^a	2,051±100 ^a	4,133±431 ^a	5,244±1,091 ^a
3	55±3 ^a	619±54 ^a	1,801±75 ^a	1,714±143 ^a	3,475±545 ^a	3,943±73 ^{ab}
6	50±3 ^a	532±16 ^a	508±41 ^b	1,301±89 ^b	1,821±200 ^b	2,860±590 ^{ab}
9	55±3 ^a	543±51 ^a	563±24 ^b	1,012±41 ^{bc}	1,535±439 ^b	1,591±349 ^b
12	50±2 ^a	587±71 ^a	547±69 ^b	781±151 ^c	1,008±383 ^{bc}	841±324 ^{bc}
15	55±3 ^a	615±76 ^a	591±87 ^b	786±40 ^c	694±20 ^c	373±108 ^c
18	55±2 ^a	551±39 ^a	567±79 ^b	551±165 ^c	250±25 ^c	115±51 ^c

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 32 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างๆ เป็นระยะเวลา 10 วัน

1.2 ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* พบว่า ความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* (ตารางที่ 6) และ *Microcystis* (ตารางที่ 7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดย *Oscillatoria* จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.0-9.0 และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 9.0 ส่วนความเป็นกรด-ด่างที่น้อยกว่า 4.5 หรือมากกว่า 10.5 จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* ให้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และความเป็นกรด-ด่างที่น้อยกว่า 4.5 จะทำให้เซลล์ของ *Oscillatoria* แยกออกจากเส้นสายเป็นเซลล์เดี่ยว (ภาพที่ 35) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ปกติ (ภาพที่ 36) แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 10.5 เซลล์จะรวมเป็นกลุ่มเกาะอยู่ที่พื้นภาชนะ ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.0-9.0 และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.5 ส่วนความเป็นกรด-ด่างที่น้อยกว่า 4.5 หรือมากกว่า 10.5 จะมีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis* ให้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนชุดทดลองที่ไม่ได้ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ตลอดการ

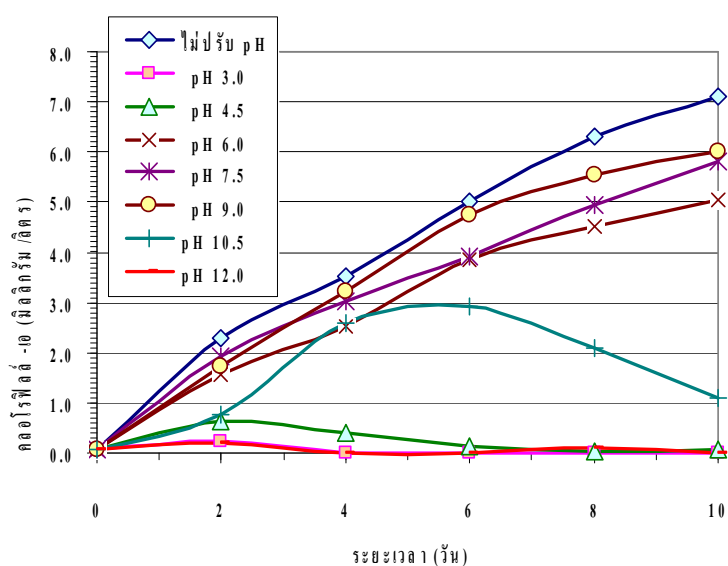
ตารางที่ 6 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ความเป็นกรด-ด่าง	เวลา (วัน)					
	0	2	4	6	8	10
กลุ่มควบคุม	64±7 ^a	2,287±220 ^a	3,513±657 ^a	5,012±1,312 ^a	6,293±1,511 ^a	7,102±819 ^a
3.0	64±7 ^a	235±197 ^d	6±0 ^d	13±0 ^d	10±0 ^d	0±0 ^c
4.5	65±7 ^a	618±426 ^c	412±134 ^c	124±91 ^d	31±4 ^d	56±7 ^c
6.0	64±6 ^a	1,548±295 ^b	2,513±870 ^b	3,849±618 ^b	4,523±766 ^b	5,043±1,044 ^c
7.5	65±7 ^a	1,938±179 ^a	3,015±411 ^{ab}	3,912±445 ^b	4,951±734 ^{ab}	5,817±648 ^b
9.0	65±6 ^a	1,713±674 ^{ab}	3,217±521 ^a	4,734±626 ^a	5,534±820 ^a	6,012±716 ^b
10.5	64±7 ^a	754±120 ^c	2,604±821 ^b	2,926±445 ^c	2,102±134 ^c	1,092±87 ^d
12.0	64±0 ^a	213±0 ^d	0±0 ^d	0±0 ^d	112±0 ^d	0±0 ^c

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

ทดลองจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.6-9.2 ซึ่งการเจริญเติบโตมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลอง *Oscillatoria* ที่ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง 9.0 และ *Microcystis* ที่ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง 7.5-9.0 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด สอดคล้องกับ Wei *et al.* (2001) พบว่า *Microcystis* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อความเป็นกรด-ด่าง 7.0-9.5 และ Konopka (1981) รายงานว่าสาหร่าย *Oscillatoria rubescens* จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.5-8.5 และถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.0 หรือมากกว่า 9.0 จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด นอกจากนี้ Brock (1973) สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะไม่พบในธรรมชาติถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.0 ดังนั้น ความเป็นกรด-ด่างในน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้



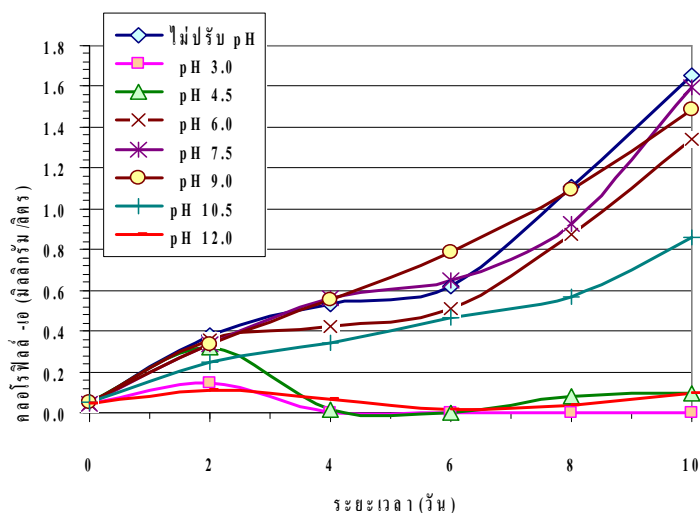
ภาพที่ 33 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

ตารางที่ 7 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

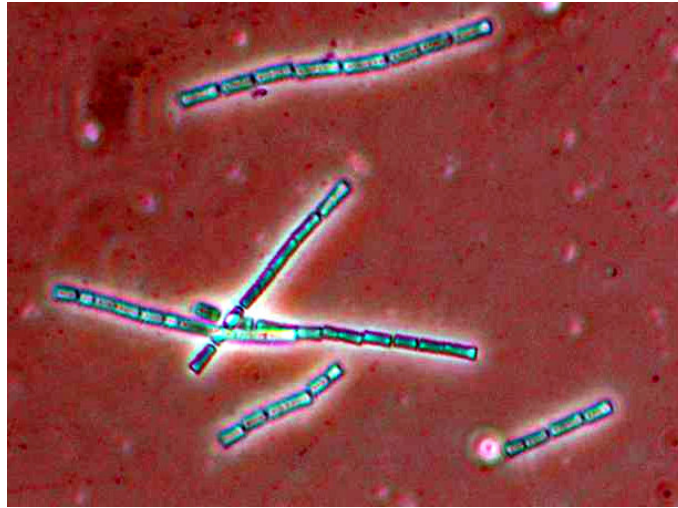
ความเป็นกรด-ด่าง	เวลา (วัน)					
	0	2	4	6	8	10
กลุ่มควบคุม	47±2 ^a	378±109 ^a	534±134 ^a	620±137 ^c	1,111±187 ^a	1,651±195 ^a
3.0	47±3 ^a	145±41 ^c	0±0 ^d	0±0 ^d	0±0 ^d	0±0 ^e
4.5	48±3 ^a	323±48 ^a	11±1 ^d	0±1	78±3 ^d	95±2 ^d
6.0	47±2 ^a	356±86 ^a	422±123 ^b	511±129 ^c	878±132 ^b	1,340±211 ^b
7.5	47±3 ^a	334±94 ^a	562±137 ^a	645±154 ^c	928±165 ^a	1,597±243 ^a
9.0	48±3 ^a	334±128 ^a	556±93 ^a	790±94 ^a	1,090±153 ^a	1,485±137 ^{ab}
10.5	48±3 ^a	245±74 ^b	345±65 ^c	467±134 ^c	570±129 ^c	860±212 ^c
12.0	47±2 ^a	111±54 ^c	68±8 ^d	11±2	33±2 ^d	94±11 ^d

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 34 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน

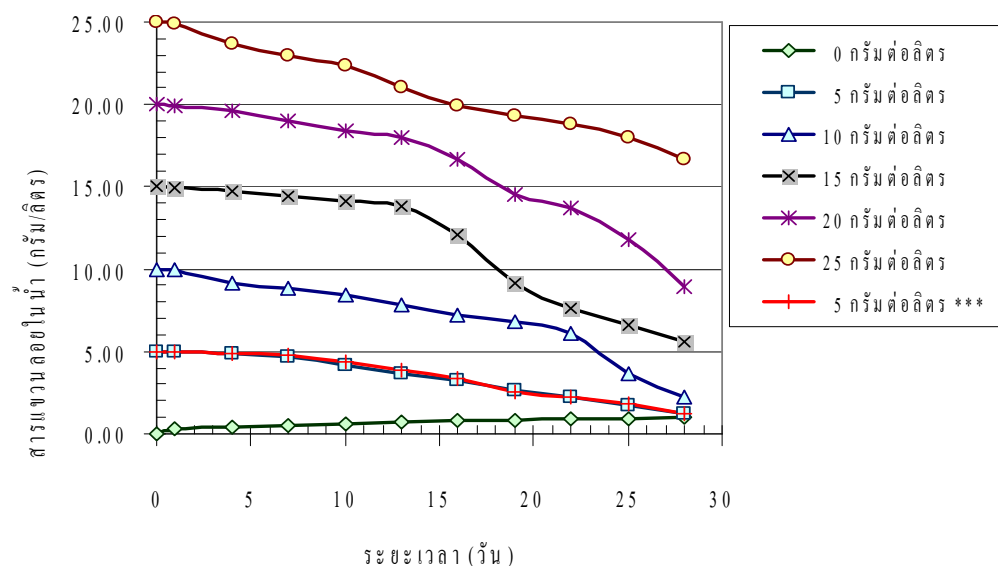


ภาพที่ 35 ลักษณะเส้นสายของ *Oscillatoria* ที่แยกจากกันเนื่องจากเลี้ยวในความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6

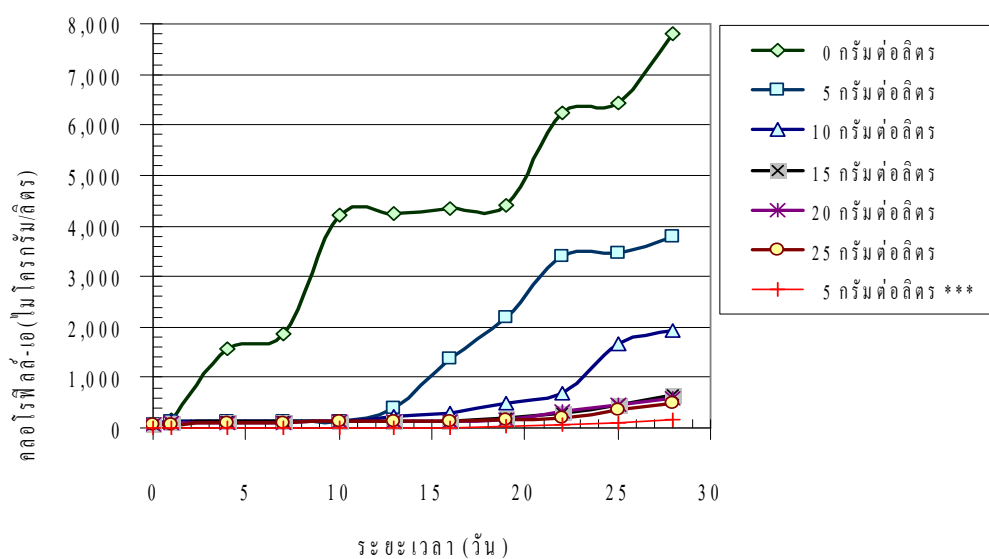


ภาพที่ 36 ลักษณะเส้นสายปกติของ *Oscillatoria* ที่เลี้ยวในความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 6

1.3 ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่างๆ ในน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* พบว่า ปริมาณสารแขวนลอยมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) จากตารางที่ 8 และ 9 พบว่า ระหว่างการทดลองปริมาณสารแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณลดลงเนื่องจากการเก็บน้ำตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอย และมีตะกอนบางส่วนเกาะติดอยู่บริเวณขอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทำให้ปริมาณสารแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลองเปลี่ยนแปลงไป แต่จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารแขวนลอยลดลงต่ำกว่า 5.54 ± 0.24 กรัม/ลิตร และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในชุดการทดลองที่ไม่มีปริมาณสารแขวนลอย (ภาพที่ 37, 38, 39, 40, 41, 42) และปริมาณสารแขวนลอยที่มากกว่า 5.54 ± 0.24 กรัม/ลิตร จะทำให้การเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* ลดลง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนการเจริญเติบโตของ *Microcystis* จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารแขวนลอยต่ำกว่า 4.95 ± 0.36 กรัม/ลิตร และเจริญเติบโตได้ดีที่สุดไม่มีปริมาณสารแขวนลอย (ภาพที่ 43, 44, 45, 46, 47, 48) และปริมาณสารแขวนลอยที่มากกว่า 4.95 ± 0.36 กรัม/ลิตร จะทำให้การเจริญเติบโตของ *Microcystis* ลดลง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองผลการวิเคราะห์คลอโรฟิล-เอ ในชุดการทดลองที่มีตะกอนดิน 5 กรัมต่อลิตร ที่ไม่ได้เติม *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับชุดการทดลองที่มีตะกอนดิน 5 กรัมต่อลิตร เติม *Oscillatoria* และ *Microcystis* พบว่าการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 8 และ 9) ซึ่งปริมาณสารแขวนลอยเป็นปัจจัยที่ไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และ *Microcystis*



ภาพที่ 37 ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่างๆระหว่างการทดลองสาหร่าย *Oscillatoria*
 หมายถึง 5*** หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอย 5 กรัม/ลิตร ไม่มีสาหร่าย *Oscillatoria*

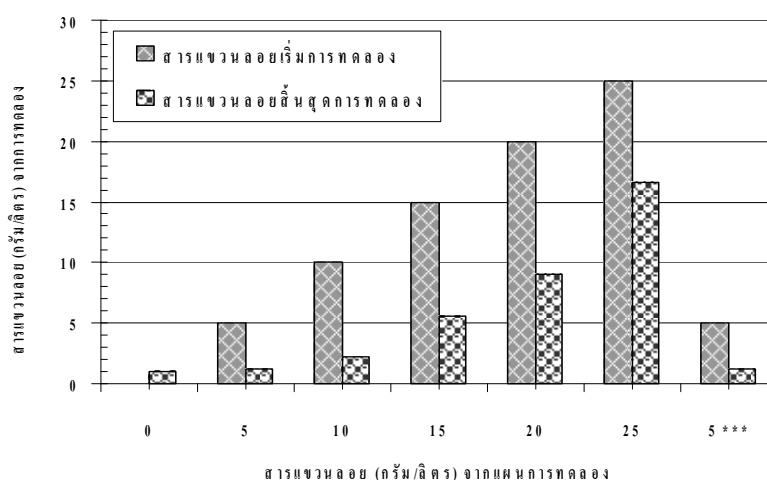


ภาพที่ 38 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ต่างๆ

ตารางที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

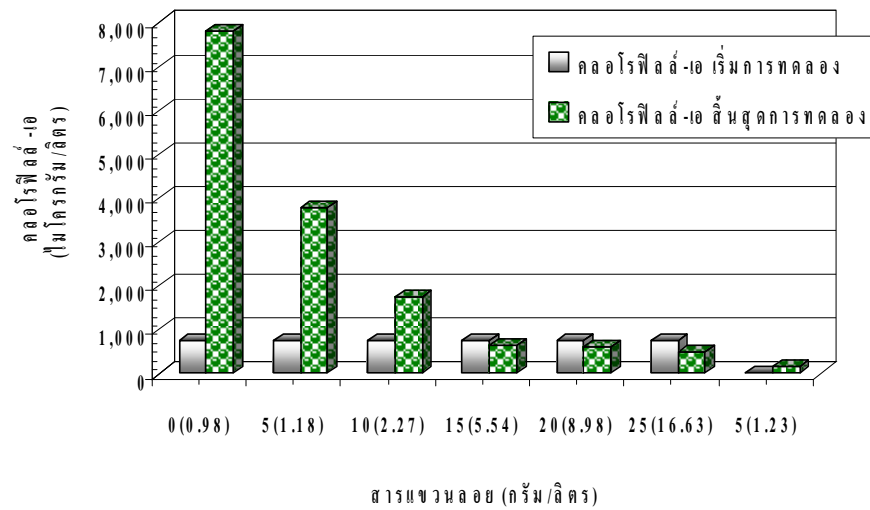
สารแขวนลอย เริ่มต้น (กรัม/ลิตร)	สารแขวนลอย สิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ลิตร)	คลอโรฟิลล์-เอ เริ่มต้น (ไมโครกรัม/ลิตร)	คลอโรฟิลล์-เอ สิ้นสุดการทดลอง (ไมโครกรัม/ลิตร)
0	0.98±0.07 ^a	74.37±8.56	7,814.33±253.67 ^a
5	1.18±0.14 ^{ab}	74.37±8.56	3,783.20±128.91 ^b
10	2.27±0.30 ^b	74.37±8.56	1,735.41±392.08 ^c
15	5.54±0.24 ^c	74.37±8.56	644.58±21.61 ^{cd}
20	8.98±0.32 ^d	74.37±8.56	590.04±60.93 ^{cd}
25	16.63±0.20 ^e	74.37±8.56	480.96±47.30 ^{cd}
5 ไม่เติม <i>Oscillatoria</i>	1.23±0.24 ^{ab}	0.00±0.00	148.75±17.17 ^d

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)
อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 39 ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

หมายเหตุ 5*** หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอย 5 กรัม/ลิตร ไม่มีสาหร่าย *Oscillatoria*



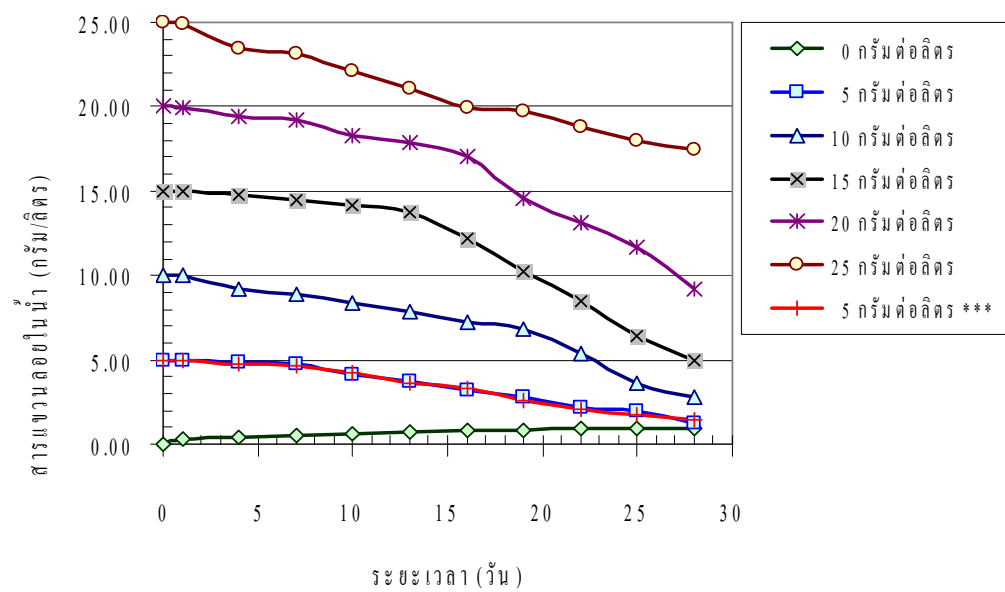
ภาพที่ 40 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่าง ๆ
 หมายเหตุ ตัวเลขนอกวงเล็บ หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอยเริ่มต้นการทดลอง
 ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



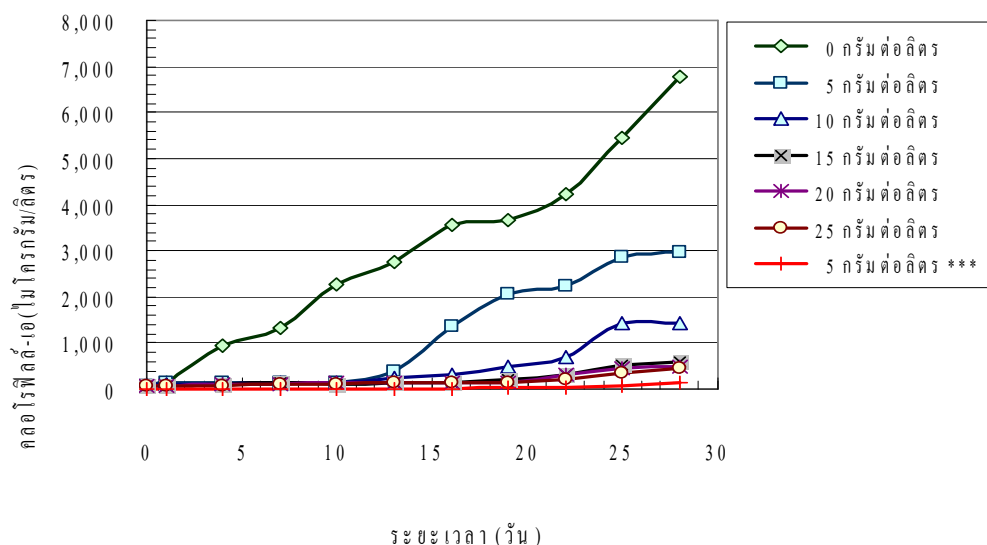
ภาพที่ 41 *Oscillatoria* เจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีสารแขวนลอย (ตะกอนดิน)



ภาพที่ 42 *Oscillatoria* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในสภาพที่มีสารแขวนลอยมาก



ภาพที่ 43 ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่างๆ ระหว่างการทดลองสำหรับ *Microcystis*
หมายเหตุ 5*** หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอย 5 กรัม/ลิตร ไม่มีสาหร่าย *Microcystis*



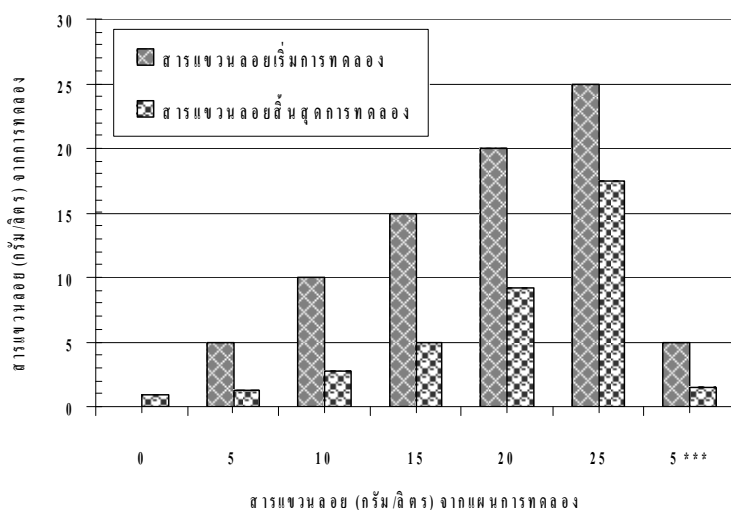
ภาพที่ 44 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ต่างๆ

ตารางที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* และปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

สารแขวนลอย (กรัม/ลิตร)		คลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัม/ลิตร)	
เริ่มต้นการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง	เริ่มต้นการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง
0	0.88±0.07 ^a	96.42±7.38	6,781.56±347.54 ^a
5	1.28±0.10 ^{ab}	96.42±7.38	2,974.43±145.53 ^b
10	2.78±0.18 ^c	96.42±7.38	1,434.27±152.86 ^c
15	4.95±0.36 ^d	96.42±7.38	577.45±61.31 ^{cd}
20	9.21±0.33 ^e	96.42±7.38	483.64±34.93 ^{cd}
25	17.43±0.20 ^f	96.42±7.38	453.76±57.58 ^{cd}
5 ไม่เติม <i>Microcystis</i>	1.47±0.24 ^b	0.00±0.00	153.36±17.17 ^d

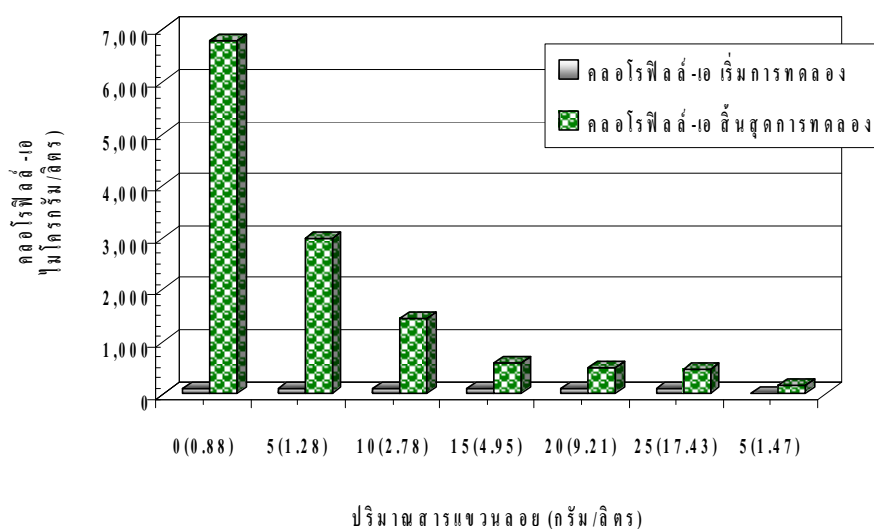
หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่ามีแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 45 ปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

หมายเหตุ 5*** หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอย 5 กรัม/ลิตร ไม่มีสาหร่าย *Microcystis*



ภาพที่ 46 การเจริญเติบโต (ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล

Microcystis ที่เลี้ยงในปริมาณสารแขวนลอย (ตะกอนดิน) ระดับต่าง ๆ

หมายเหตุ ตัวเลขนอกวงเล็บ หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอยเริ่มต้นการทดลอง

ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ปริมาณสารแขวนลอยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 47 *Microcystis* เจริญเติบโตในสภาพที่ไม่มีสารแขวนลอย (ตะกอนดิน)



ภาพที่ 48 *Microcystis* ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในสภาพที่มีสารแขวนลอยมาก

1.4 ผลของปริมาณไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* พบว่าปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* (ตารางที่ 10) และ *Microcystis* (ตารางที่ 11) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมที่ทำให้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นความแตกต่างได้ชัดในวันที่ 12 ของการเลี้ยง (ภาพที่ 49, 50) สอดคล้องกับ Funge-Smith and Briggs (1998) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจนเนื่องจากปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกลไกทางสรีรวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Saha (2003) พบว่าในสภาวะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria willei* BDU 130511ขาดไนโตรเจนเป็นเวลานานจะทำให้ลักษณะของเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเซลล์จะแตกหักออกจากเส้นสายเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 12 วัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	
0	0.00	45±5	54±26	50±9	45±0	19±13	43±11 ^a
	0.25	40±5	45±9	60±10	45±9	15±0	41±23 ^a
	0.50	40±15	50±10	50±9	45±0	74±9	52±6 ^a
	0.75	50±9	45±15	45±17	40±13	45±9	45±16 ^a
	1.00	64±9	45±9	60±23	45±9	50±13	53±6 ^a
2		48±15 ^a	48±10 ^a	53±3 ^a	44±21 ^a	41±0 ^a	
	0.00	35±13	10±9	10±9	15±9	54±20	25±9 ^a
	0.25	35±5	263±35	253±82	159±33	307±88	204±49 ^a
	0.50	94±10	104±0.017	223±34	213±87	253±73	178±33 ^b
	0.75	228±30	213±39	129±50	276±35	372±60	244±47 ^{ab}
	1.00	233±62	248±50	253±31	248±5	307±20	258±13 ^{ab}
		0125±4 ^a	168±48 ^a	174±47 ^a	183±312 ^b	259±5 ^a	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	
4	0.00	60±30	0±0	0±0	0±0	0±0	12±12 ^a
	0.25	0±0	198±98	218±57	268± 60	466±284	230±75 ^b
	0.50	208±34	228±26	446±108	382±0.092	506±398	354±146 ^{bc}
	0.75	233±30	288±47	372±68	605±0.204	580±172	416±76 ^c
	1.00	337±81	302±0.021	838±13	393±0.140	610±97	496±101 ^c
6		168±15 ^a	203±0.057 ^{ab}	375±139 ^b	330±0.099 ^b	433±162 ^c	
	0.00	64±35	74±23	55±10	60±9	89±8	69±25 ^a
	0.25	144±33	610±67	650±77	655±125	893±253	590±122 ^b
	0.50	496±117	590±26	1,165±137	1,180±96	1,180±135	995±147 ^c
	0.75	545±109	565±147	984±196	1,155±346	1,641±384	970±212 ^c
	1.00	536±60	828±198	1,696±396	1,492±587	1,770±588	1,264±246 ^d
		357±104 ^a	533±124 ^a	910±275 ^b	908±251 ^b	1,115±0.169 ^c	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

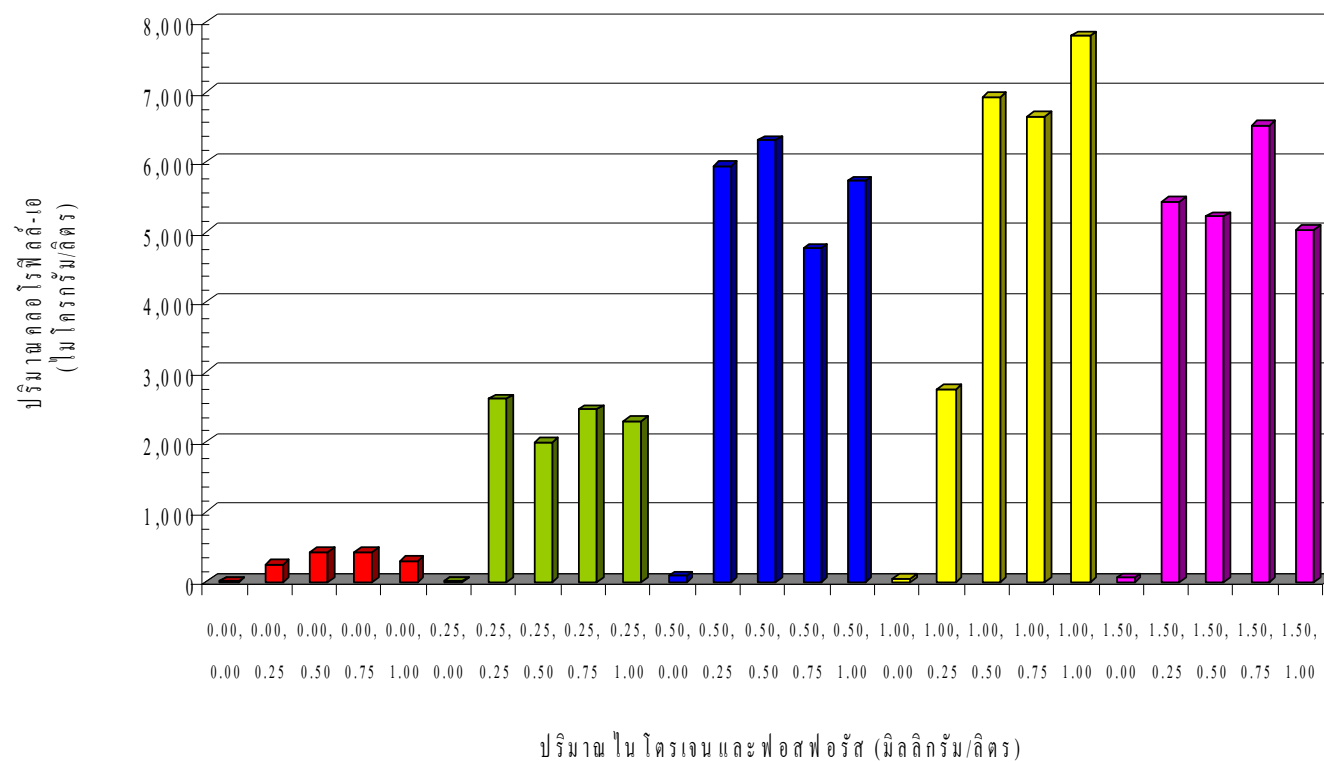
เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	
8	0.00	84±13	89±9	94±30	79±13	124±20	094±8 ^a
	0.25	203±40	1,279±68	1,492±375	1,304±260	1,944±458	1,244±286 ^b
	0.50	471±87	1,463±324	2,018±640	2,861±0.978	2,325±535	1,828±408 ^{bc}
	0.75	620±137	962±203	1,502±692	2,350±1.031	2,856±1,228	1,658±418 ^{bc}
	1.00	774±52	605±73	2,920±988	3,258±1.220	3,753±1,641	2,262±656 ^c
10		430±128 ^a	880±246 ^{ab}	1,605±459 ^b	1,970±575 ^{bc}	2,200±601 ^c	
	0.00	144±5	164±48	124±40	154±64	198±560	157±12 ^a
	0.25	202±52	1,998±592	3,183±794	2,846±399	3,471±989	2,340±553 ^b
	0.50	560±26	2,068±732	3,882±1,250	5,345±1,762	3,838±878	3,139±828 ^c
	0.75	729±91	1,641±463	2,425±1,265	4,334±1,929	4,805±2,232	2,787±779 ^b
	1.00	709±47	1,706±400	5,985±2,187	5,419±1,793	5,712±2,116	3,906±1,117 ^d
		469±109 ^a	1,515±348 ^b	3,120±955 ^c	3,620±983 ^c	3,605±937 ^c	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	
12	0.00	5±5	9±3	84±20	39±11	54±5	38±15 ^a
	0.25	243±33	2,613±795	5,935±1,935	2,752±791	5,434±1,481	3,395±1,038 ^b
	0.50	426±109	1,993±698	6,302±1,432	6,922±2,892	5,216±1,469	4,172±1,264 ^c
	0.75	417±275	2,459±1,101	4,760±2,829	6,644±4,301	6,515±3,911	4,159±1,204 ^c
	1.00	258±141	2,301±1,008	5,722±3,933	7,795±2,548	5,018±1,353	4,219±1,324 ^c
		290±76 ^a	1,875±478 ^b	4,561±1,148 ^c	4,830±1,479 ^c	5,447±1,128 ^c	

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์หรือแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์หรือแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 49 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* วันที่ 12 ของการเลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

ตารางที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 12 วัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
0	0.00	858±66	704±28	650±36	709±22	674±42	0.719±0.036^a
	0.25	620±85	610±60	565±26	684±30	803±52	0.656±0.041^a
	0.50	669±87	684±48	754±22	699±17	630±35	0.687±0.020^a
	0.75	749±97	524±18	689±92	714±56	575±44	0.651±0.043^a
	1.00	645±98	739±80	650±83	605±95	719±35	0.672±0.025^a
2		708±43^a	653±38^a	662±31^a	682±20^a	680±39^a	
	0.00	2,003±107	1,423±125	1,626±133	1,552±117	1,845±112	1.690±0.104^a
	0.25	1,403±374	1,840±267	1,646±140	1,507±722	2,117±205	1.730±0.127^a
	0.50	1,706±80	1,611±198	1,820±129	1,849±112	1,443±606	1.684±0.076^a
	0.75	2,087±174	2,063±106	1,671±138	1,909±227	1,825±295	1.911±0.077^a
	1.00	2,246±136	2,489±50	2,435±237	2,712±56	2,673±150	2.511±0.085^b
		1,889±150^a	1,885±185^a	1,840±153^a	1,906±216^a	1,979±205^a	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
4	0.00	2,162±157	1,755±90	1,978±52	2,013±137	2,440±485	2.070±0.113^a
	0.25	2,048±151	2,137±142	1,934±133	2,390±91	2,335±130	2.169±0.086^{ab}
	0.50	2,355±204	2,375±130	2,350±152	2,152±77	2,707±188	2.388±0.089^{ab}
	0.75	2,524±570	2,554±250	2,430±320	2,633±113	2,430±382	2.514±0.039^b
	1.00	2,192±97	2,192±188	2,395±388	2,415±165	1,884±159	2.216±0.096^{ab}
6		2,256±83^a	2,203±134^a	2,217±108^a	2,321±109^a	2,359±134^a	
	0.00	2,064±15	2,074±258	2,055±374	2,060±507	3,089±331	2.681±0.200^a
	0.25	2,144±47	3,610±744	2,650±267	3,655±374	3,893±193	3.112±0.178^{ab}
	0.50	2,496±196	3,590±253	3,165±267	3,180±164	4,180±457	3.430±0.188^b
	0.75	3,545±314	3,565±417	3,684±294	4,155±128	4,641±582	3.548±0.216^b
	1.00	2,536±299	2,828±204	3,696±214	3,492±447	4,770±350	3.409±0.390^b
		2,612±163^a	2,957±177^{ab}	3,352±197^b	3,454±0.299^b	3,806±0.169^c	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

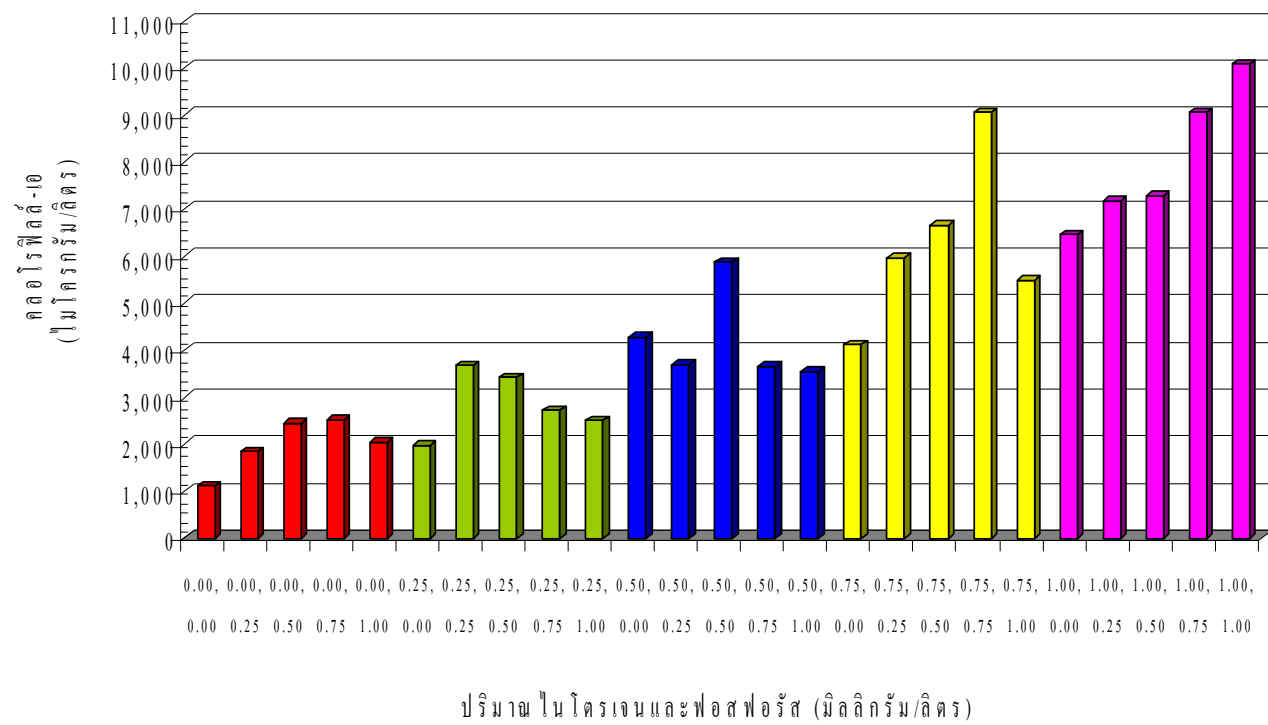
เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
8	0.00	3,074±122	2,797±262	4,200±776	3,223±800	4,740±537	3.607±0.369 ^a
	0.25	2,682±57	3,367±622	3,813±569	5,067±333	4,705±285	3.927±0.435 ^{ab}
	0.50	3,149±272	3,501±180	4,586±288	4,924±245	5,008±471	4.234±0.382 ^b
	0.75	3,035±632	3,362±454	3,714±206	6,699±66	5,776±656	4.517±0.725 ^b
	1.00	2,801±137	3,565±542	4,225±172	6,158±722	6,783±407	4.706±0.761 ^c
10		2,948±88 ^a	3,318±136 ^a	4,108±157 ^b	5,214±599 ^c	5,402±395 ^c	
	0.00	2,390±232	2,251±422	4,968±986	3,600±827	5,335±851	3.709±0.637 ^a
	0.25	2,211±216	3,872±885	3,540±763	4,849±860	7,195±859	4.333±0.831 ^b
	0.50	2,474±177	3,687±734	5,206±247	5,172±760	6,352±546	4.579±0.675 ^c
	0.75	2,519±292	3,020±792	3,758±544	7,651±95	6,679±652	4.725±1.027 ^{cd}
	1.00	2,457±238	3,545±417	3,902±588	6,446±918	8,112±241	4.893±1.037 ^d
		2,411±54 ^a	3,275±293 ^b	4,275±339 ^c	5,504±695 ^d	6,735±459 ^c	

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
12	0.00	1,106±78	1,978±679	4,279±615	4,115±806	6,456±915	3.587±0.942 ^a
	0.25	1,840±412	3,674±886	3,689±862	5,950±840	7,170±892	4.465±0.939 ^b
	0.50	2,444±559	3,421±611	5,861±75	6,645±229	7,269±115	5.129±0.937 ^d
	0.75	2,509±421	2,722±402	3,659±902	9,054±267	9,045±620	5.399±1.504 ^d
	1.00	2,033±276	2,494±522	3,550±95	5,485±753	10,080±241	4.708±1.461 ^c
		1,986±253 ^a	2,858±309 ^b	4,208±433 ^c	6,231±819 ^d	8,005±672 ^c	

หมายเหตุ อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์หรือแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

อักษรที่ไม่เหมือนกันในคอลัมน์หรือแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 50 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* วันที่ 12 ของการเลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมกับการเจริญเติบโตของ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*

จากการสำรวจบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ จำนวน 10 บ่อ เก็บตัวอย่างดิน ตะกอนดินและน้ำ นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ตะกอนดินและน้ำ พบว่า

2.1 คุณสมบัติของดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จะเป็นดินประเภทดินเหนียวทั้ง 10 บ่อ โดยมีปริมาณไนโตรเจนและปริมาณฟอสเฟตแตกต่างกัน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ

บ่อที่	คุณสมบัติของดิน		
	ประเภทดิน	ไนโตรเจน (ppm)	ฟอสเฟต (ppm)
1	ดินเหนียว	112.3±2.5	18.7±0.6
2	ดินเหนียว	150.7±4.0	16.7±1.5
3	ดินเหนียว	169.3±1.5	20.7±1.5
4	ดินเหนียว	95.7±0.6	13.0±2.6
5	ดินเหนียว	181.7±1.5	34.0±2.7
6	ดินเหนียว	146.7±2.5	25.7±0.6
7	ดินเหนียว	115.7±3.5	17.0±1.0
8	ดินเหนียว	104.5±2.1	23.3±2.5
9	ดินเหนียว	123.7±2.5	24.0±2.0
10	ดินเหนียว	127.7±1.5	36.3±1.5

2.2 คุณสมบัติของตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะมีปริมาณไนโตรเจนและปริมาณฟอสเฟตต่างกัน ดังตารางที่ 13

2.3 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมพบว่า ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ฟอสเฟตทั้งหมด และออร์โธฟอสเฟต มีความแตกต่างกันดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 คุณสมบัติน้ำของตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ

บ่อที่	คุณสมบัติน้ำของตะกอนดิน	
	ไนโตรเจน (ppm)	ฟอสเฟต (ppm)
1	213.3±4.2	42.3±1.2
2	207.0±7.2	35.0±1.7
3	253.3±5.7	44.7±1.5
4	179.7±4.7	31.3±2.5
5	267.3±7.7	57.0±2.0
6	191.7±3.5	48.7±0.6
7	183.0±3.0	54.7±1.5
8	194.7±4.9	41.3±1.5
9	210.3±4.5	42.7±2.5
10	246.0±3.0	36.7±3.2

ตารางที่ 14 คุณสมบัติน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ

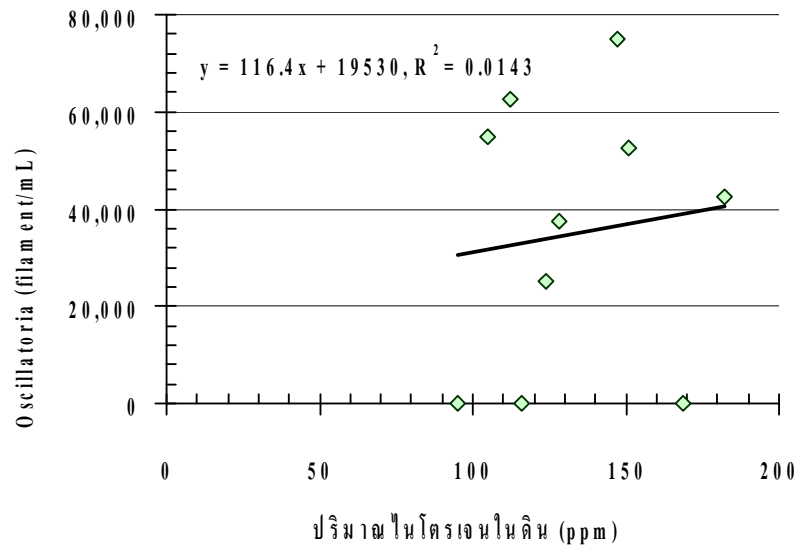
บ่อที่	ความ เค็ม (ppt)	ความเป็น กรด-ด่าง	ไนโตรเจน ทั้งหมด (ppm)	แอมโมเนีย (ppm)	ฟอสเฟต ทั้งหมด (ppm)	ออร์โธ ฟอสเฟต (ppm)
1	3±0	7.7±0.0	1.984±0.004	0.754±0.001	0.423±0.003	0.020±0.001
2	3±0	7.9±0.0	2.114±0.002	1.323±0.003	0.152±0.002	0.012±0.001
3	2±0	7.5±0.0	2.050±0.004	1.273±0.002	0.353±0.004	0.021±0.001
4	1±0	7.8±0.0	1.095±0.005	0.593±0.001	0.113±0.003	0.014±0.001
5	2±0	7.9±0.0	2.179±0.002	1.294±0.002	0.138±0.002	0.029±0.001
6	3±0	8.2±0.0	4.354±0.004	2.362±0.003	0.413±0.004	0.003±0.001
7	3±0	7.8±0.0	1.024±0.002	0.684±0.002	0.750±0.009	0.024±0.001
8	2±0	8.3±0.0	4.490±0.004	2.342±0.001	0.233±0.005	0.004±0.001
9	2±0	7.9±0.0	3.709±0.003	1.984±0.001	0.490±0.004	0.002±0.001
10	1±0	7.8±0.0	1.673±0.002	0.854±0.001	0.179±0.005	0.019±0.002

2.4 ความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จากการแยกชนิดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบเฉพาะ *Oscillatoria* และมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 15

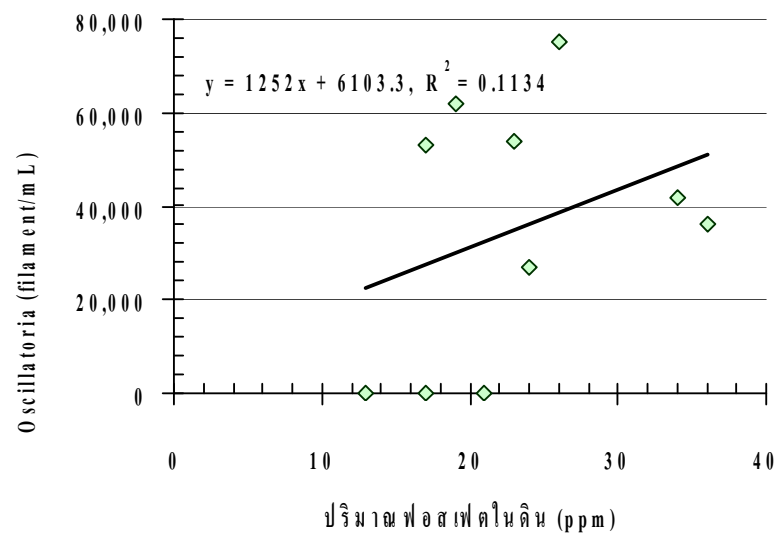
ตารางที่ 15 ความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*

บ่อที่	ความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล	
	<i>Oscillatoria</i> (filament/mL)	<i>Microcystis</i> (colony/mL)
1	6.2×10^4	0
2	5.3×10^4	0
3	0	0
4	0	0
5	4.2×10^4	0
6	7.5×10^4	0
7	0	0
8	5.4×10^4	0
9	2.7×10^4	0
10	3.6×10^4	0

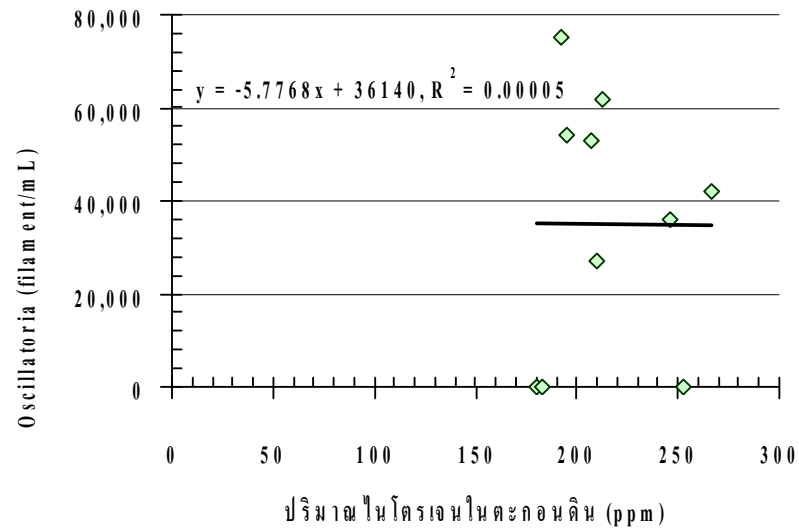
จากผลการศึกษา นำปัจจัยต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* จะได้ค่าดังภาพที่ 51-60 และตารางที่ 16



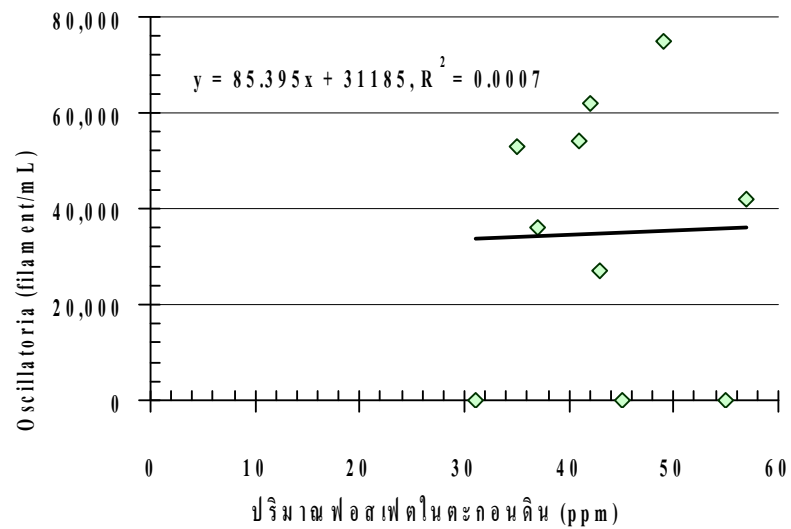
ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในดินกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



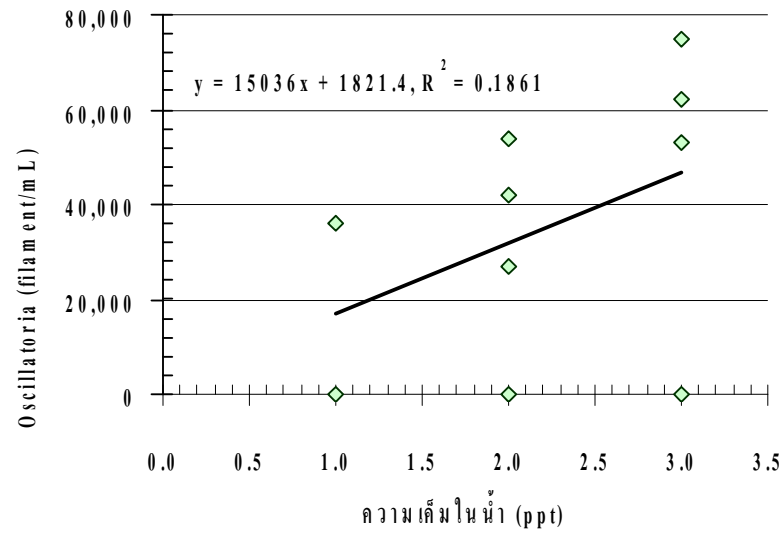
ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตในดินกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



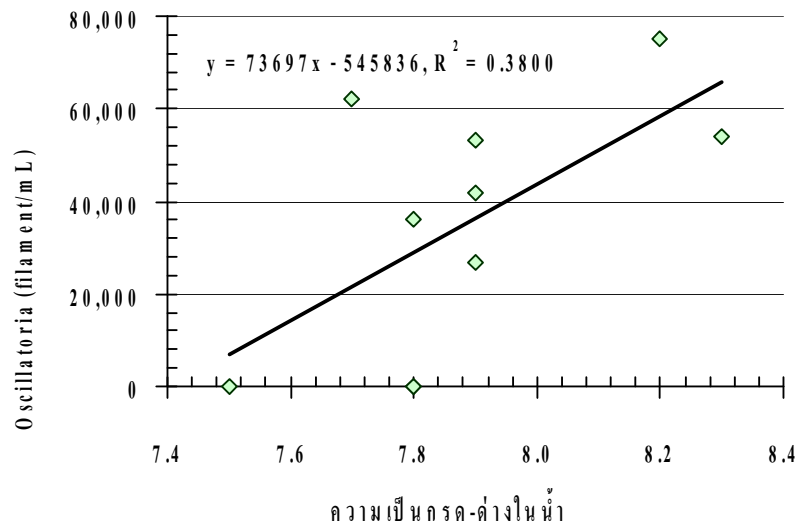
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดินกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



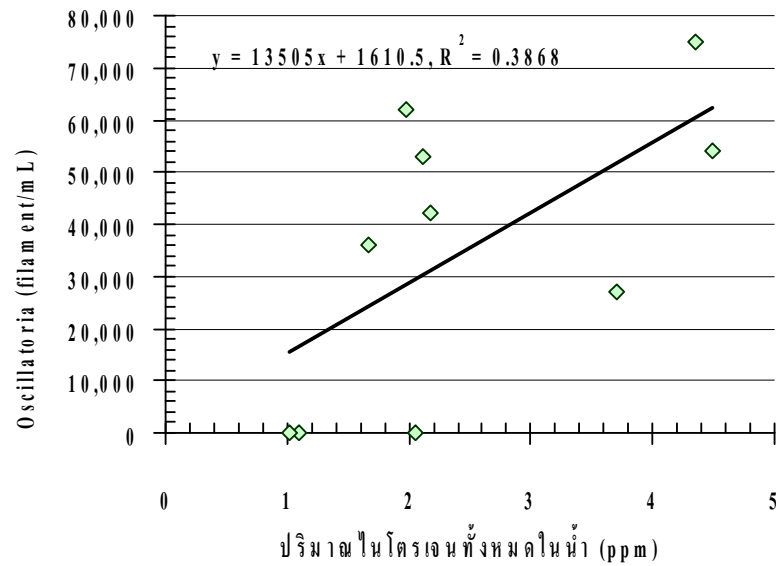
ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตในตะกอนดินกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



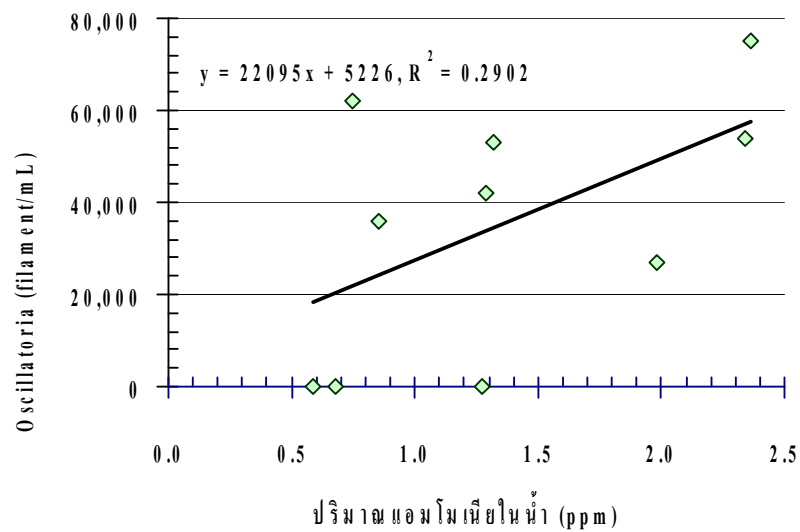
ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ของความเค็มในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



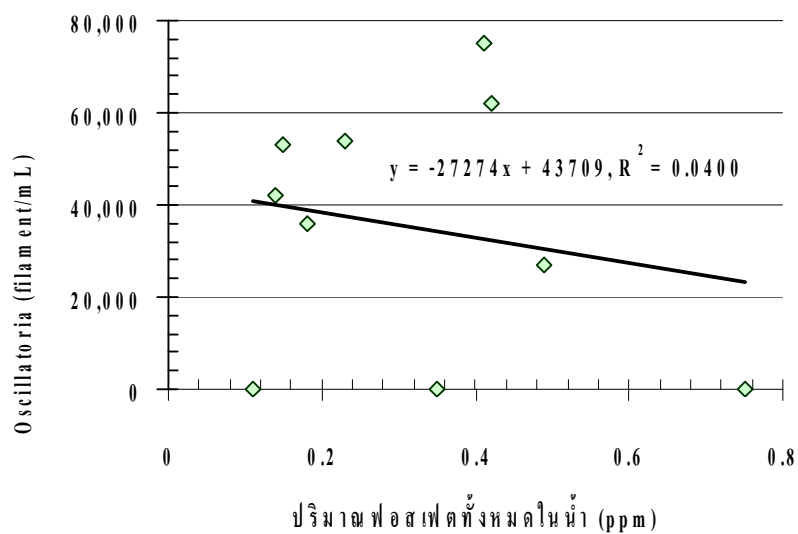
ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-ด่างในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



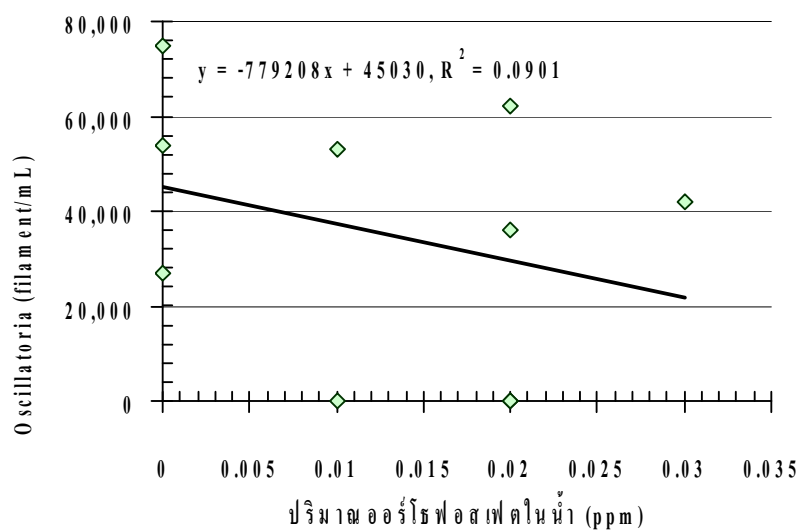
ภาพที่ 57 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ของปริมาณแอมโมเนียในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำกับจำนวน *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

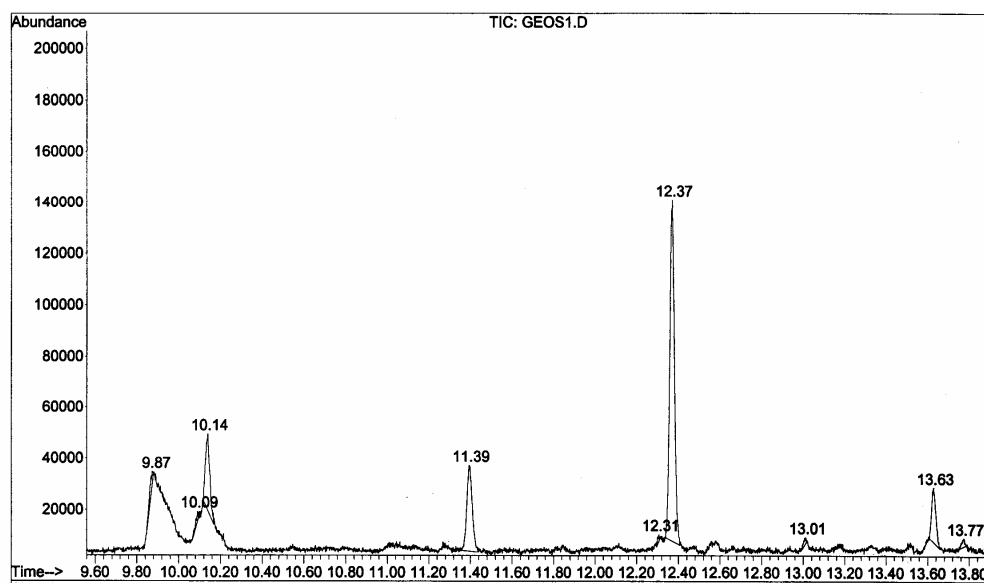
ตารางที่ 16 แสดงความสัมพันธ์คุณสมบัติ น้ำ ตะกอนดิน และดินกับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในน้ำความเค็มต่ำ

ปัจจัยต่างๆ (ppm)	สมการเชิงเส้น	R ²
ไนโตรเจนในดิน	$y = 118.1x + 19,204$	0.0149
ฟอสเฟตในดิน	$y = 1,252x + 6,103.3$	0.1134
ไนโตรเจนในตะกอนดิน	$y = -5.7768x + 36,140$	0.00005
ฟอสเฟตในตะกอนดิน	$y = 85.395x + 31,185$	0.0007
ความเค็มในน้ำ	$y = 15,036x + 1,821.4$	0.1861
ความเป็นกรด-ด่างในน้ำ	$y = 73,697x - 545,836$	0.3800
ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ	$y = 13,505x + 1,610.5$	0.3868
แอมโมเนียในน้ำ	$y = 22,095x + 5,226.2$	0.2902
ฟอสเฟตทั้งหมดในน้ำ	$y = -27,274x + 43,709$	0.0400
ออร์โธฟอสเฟตในน้ำ	$y = -779,208x + 45,030$	0.0901

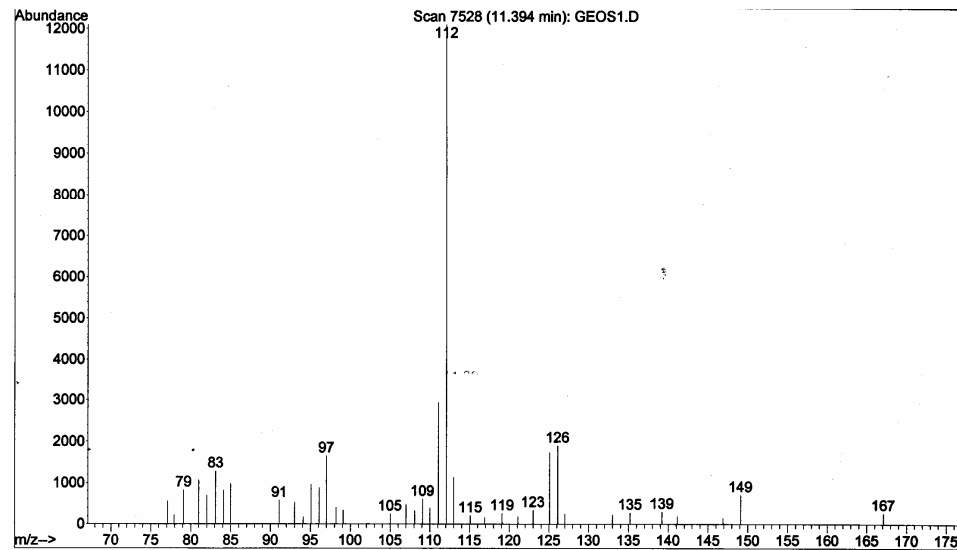
จากความสัมพันธ์สมการเชิงเส้น (ตารางที่ 16) จะพบว่า ปัจจัยต่างๆ มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ปัจจัยคุณภาพน้ำ ไนโตรเจนทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย และความเค็ม เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* มากกว่าปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Funge-Smith and Briggs (1998) ที่รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนกับปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจน และแอมโมเนีย Liu *et al.* (2007) รายงานว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย นอกจากนี้ Herbst and Blinn (1998) และ Fu and Bell (2003) รายงานว่า ความเค็มเป็นปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้ความสมดุลของออสโมภายในเซลล์ผิดปกติ และส่งผลไปยังการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง ส่วนปัจจัยคุณภาพดินและตะกอนดินจะมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย ดังนั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำไนโตรเจนทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนีย น่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการใช้เป็นปัจจัยคาดการณ์การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* เพื่อใช้เป็นข้อมูลควบคุมและป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* ได้

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับ ปริมาณ geosmin และกลีโคไลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

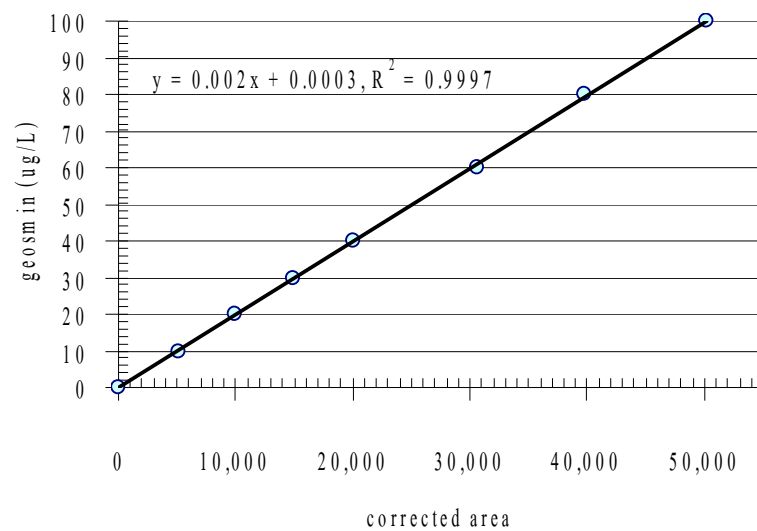
3.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน geosmin ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/ลิตร ด้วยเครื่อง gas chromatograph/mass spectrophotometry (GC/MS) จะได้ chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin (ภาพที่ 61) มีค่า mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน $m/z = 112$ (ภาพที่ 62) และได้ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME โดยมี ความสัมพันธ์เชิงเส้น corrected area (x) กับ ปริมาณ geosmin คือ $y = 0.002x + 0.0003$ (ภาพที่ 63)



ภาพที่ 61 chromatograms ของสารละลายมาตรฐาน geosmin ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS

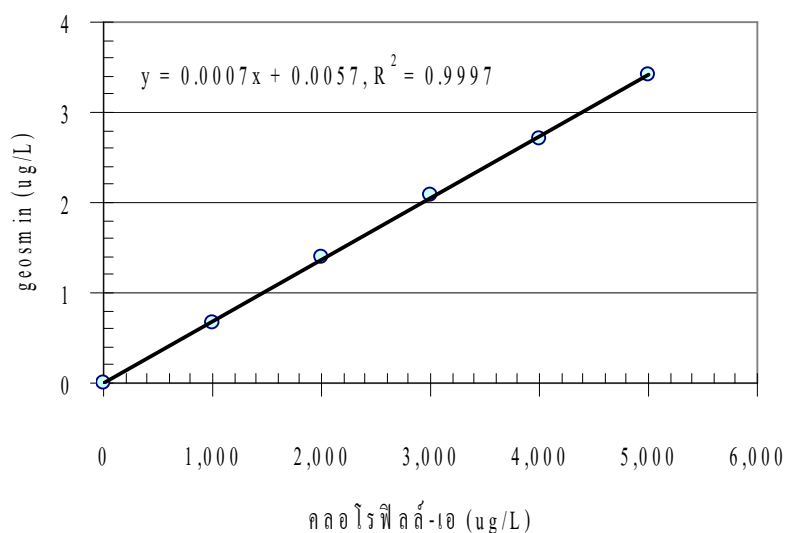


ภาพที่ 62 mass spectrum ของสารละลาย geosmin มาตรฐาน $m/z = 112$

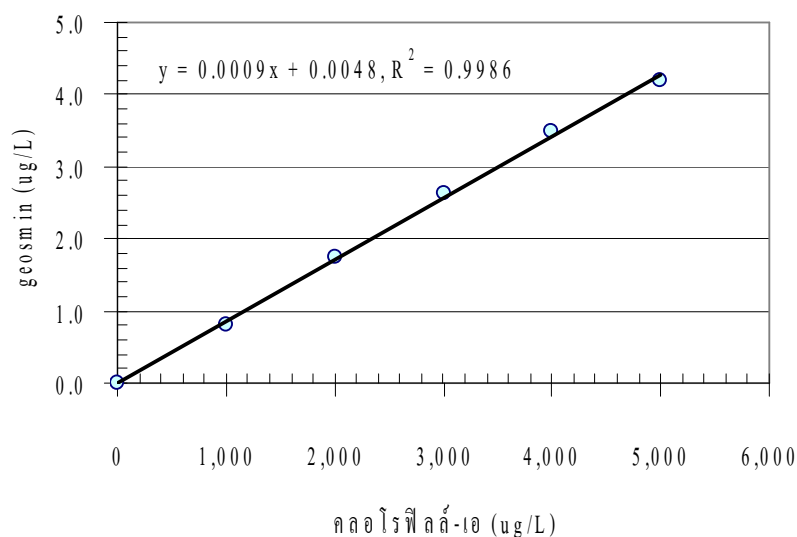


ภาพที่ 63 แสดงความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟ (corrected area) กับปริมาณ geosmin จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสาร geosmin ในเซลล์ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่แยกมาจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS-SPME พบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดมีการสร้างสาร geosmin (y) ซึ่งมีปริมาณเปลี่ยนไปตามคลอโรฟิลล์-เอ (x) และชนิดของสาหร่าย ดังสมการความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอของสาหร่าย *Oscillatoria* คือ $y = 0.0007x + 0.0057$ (ภาพที่ 64) และสาหร่าย *Microcystis* คือ $y = 0.0009x + 0.0048$ (ภาพที่ 65)

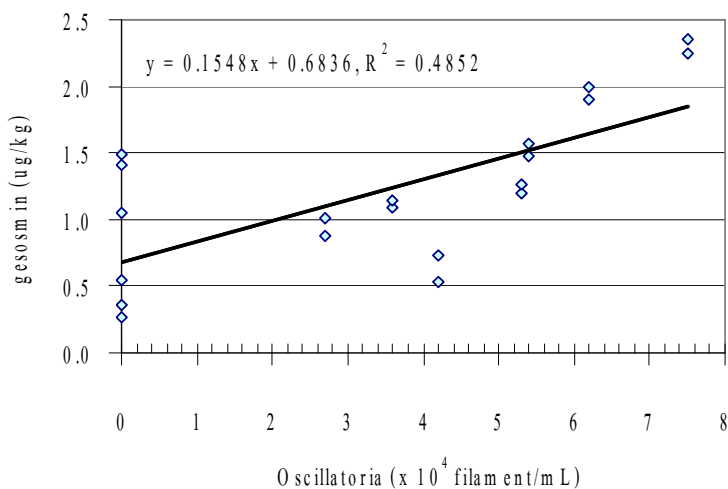


ภาพที่ 64 แสดงความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอของสาหร่าย *Oscillatoria* กับปริมาณ geosmin

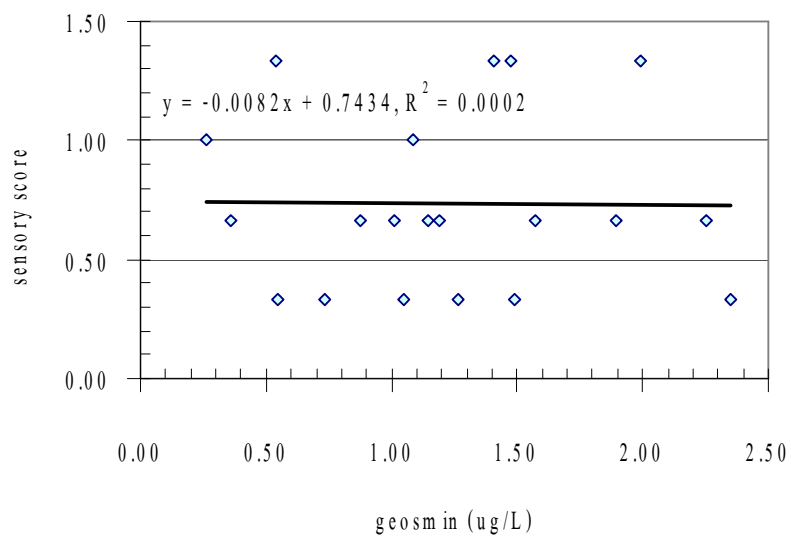


ภาพที่ 65 แสดงความสัมพันธ์ของคลอโรฟิลล์-เอของสาหร่าย *Microcystis* กับปริมาณ geosmin

3.3 การหาความสัมพันธ์ของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม กับปริมาณ geosmin และกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม นำข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมมาวิเคราะห์ปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวและหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* ซึ่งไม่พบสาหร่าย *Microcystis* พบว่าความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวอยู่ในระดับ $R^2 = 0.4852$ (ภาพที่ 66) ซึ่งมีแนวโน้มบอกได้ว่าการที่พบสาหร่าย *Oscillatoria* ในบ่อเลี้ยงจะมีโอกาสพบกุ้งขาวที่ในเนื้อก็มีปริมาณ geosmin ซึ่งมีมากขึ้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* นอกจากความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* ที่เป็นสาเหตุของการสะสมปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งได้ และเมื่อนำเนื้อกุ้งไปทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรส พบว่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin ที่สะสมในเนื้อกุ้ง โดยมี sensory score ของเนื้อกุ้งขาวส่วนมากน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในระดับไม่มีกลิ่นโคลน และมีปริมาณ geosmin น้อยกว่า 2.5 ug/kg แสดงว่าถ้าปริมาณ geosmin ที่สะสมในเนื้อกุ้ง น้อยกว่า 2.5 ug/kg การทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะไม่มีผลต่อกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง แต่เนื่องจากตัวอย่างกุ้งไม่พบปริมาณ geosmin ที่ทำให้การทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสไม่อยู่ในระดับที่แตกต่างกันมากจึงทำให้ สมการมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก



ภาพที่ 66 แสดงความสัมพันธ์ความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* กับปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม



ภาพที่ 67 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณ geosmin ในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมกับระดับกลิ่นที่ตรวจสอบ
โดยวิธีทางประสาทสัมผัส

หมายเหตุ คะแนนในการตรวจสอบโดยวิธีทางประสาทสัมผัส

ไม่มีกลิ่นโคลน	< 1
มีกลิ่นโคลนเล็กน้อย	≥ 1 และ < 2
มีกลิ่นโคลนปานกลาง	≥ 2 และ < 3
มีกลิ่นโคลนมาก	≥ 3 และ < 4
มีกลิ่นโคลนมากที่สุด	≥ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล

Oscillatoria และ *Microcystis*

1.1 ความเค็มเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมและยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยในน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 20 พีพีที จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และในน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 15 พีพีที จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis* ได้ แต่ *Oscillatoria* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำที่มีความเค็ม 5 พีพีที และ *Microcystis* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำที่มีความเค็ม 0 พีพีที

1.2 ความเป็นกรด-ด่างสามารถควบคุมและยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* เจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.5-9.0 แต่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 9.0 ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Microcystis* จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.5 และการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4.5 หรือมากกว่า 10.5 โดยเฉพาะที่ความเป็นกรด-ด่าง 3.0 และ 12.0

1.3 ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (ตะกอนดิน) เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมและยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยปริมาณสารแขวนลอยในน้ำที่มากกว่า 5.54 ± 0.24 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* และมากกว่า 4.95 ± 0.36 กรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis*

1.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยมีอิทธิพลร่วมที่สามารถควบคุมและยับยั้งเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น

2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมกับการเจริญเติบโตของ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis*

ปัจจัยสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมกับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* พบว่าปัจจัยคุณภาพน้ำ ในโตรเจนทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย และความเค็ม เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* มากกว่าปัจจัยอื่นๆ ส่วนปัจจัยคุณภาพดินและตะกอนดินจะมีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย ดังนั้น ปัจจัยคุณภาพน้ำในโตรเจนทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และ แอมโมเนีย น่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการใช้เป็นปัจจัยคาดการณ์การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* เพื่อใช้เป็นข้อมูลการควบคุมและป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* ได้ระดับหนึ่ง

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* กับ ปริมาณ geosmin และกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

3.1 สาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* ที่แยกมาจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นชนิดที่มีการสร้างสาร geosmin ซึ่งมีปริมาณเปลี่ยนไปตามคลอโรฟิลล์-เอ และชนิดของสาหร่าย

3.2 การทดสอบกลิ่นโคลนทางประสาทสัมผัสชิมรส พบว่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ geosmin ที่สะสมในเนื้อกุ้ง โดยมี sensory score ของเนื้อกุ้งขาวส่วนมากน้อยกว่า 1 ซึ่งอยู่ในระดับไม่มีกลิ่นโคลน และมีปริมาณ geosmin น้อยกว่า 2.5 ug/kg แสดงว่าถ้าปริมาณ geosmin ที่สะสมในเนื้อกุ้ง น้อยกว่า 2.5 ug/kg การทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสจะไม่มีผลต่อกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง แต่เนื่องจากตัวอย่างกุ้งไม่พบปริมาณ geosmin ที่ทำให้การทดสอบทางประสาทสัมผัสชิมรสไม่อยู่ในระดับที่แตกต่างกันมากจึงทำให้ สมการมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

3.3 สาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถสร้างสาร geosmin โดยมีแนวโน้มเพิ่มตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ดังนั้น ควรควบคุมความหนาแน่นของสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* จากการศึกษาปริมาณสารแขวนลอยเป็นปัจจัยคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* และ *Microcystis* เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับกุ้งขาวแวนนาไมน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาปริมาณ geosmin ที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในระยะต่างๆ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะช่วงที่เซลล์ยังไม่ตายและหลังจากเซลล์ตายแล้วเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดการควบคุมการเกิดกลิ่นโคลนในบ่อเลี้ยง
2. ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ในบ่อเลี้ยงที่มีผลทำให้เกิดกลิ่นโคลนเพื่อใช้ในการคาดการณ์โอกาสเกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น
3. การควบคุมความหนาแน่นของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อเลี้ยง ปริมาณสารแขวนลอยเป็นปัจจัยที่เหมาะสม โดยศึกษาปริมาณสารแขวนลอยในบ่อเลี้ยงที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกุ้งขาวแวนนาไมน้อยที่สุดแต่อยู่ในระดับที่สามารถควบคุมความหนาแน่นของสาหร่ายในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่ไม่มีผลต่อการเกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จารุวรรณ สมศิริ, สมชาย สุรวิตย์ และ จินดา มีศักดิ์. 2538. คุณภาพน้ำและความหลากหลายของ
แพลงก์ตอนในอ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี. เอกสารวิชาการ ฉบับที่
173. สถาบันประมงน้ำจืด, กรมประมง.

จุไลวรรณ รุ่งกำเนิดวงศ์ และ โสภณ อ่อนคง. 2543. การแพร่กระจายและความหนาแน่นของ
แพลงก์ตอนในแหล่งน้ำบริเวณฝัองอ่าวละงู จังหวัดสตูล. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 53/2543.
ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล, กรมประมง.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2534. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, กรุงเทพฯ.

_____. 2543. กุ้งไทย 2000 คู่ความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. เจริญรัฐการพิมพ์.
กรุงเทพมหานคร.

_____. 2551. มาตรฐานกุ้งขาวแวนนาไมก่อนตัดลิ้นใจเลี้ยง. <http://www.shrimpcenter.com/t-shrimp039.html>. มีนาคม 2551.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. บริษัท
เมจิคพับลิเคชัน จำกัด. กรุงเทพมหานคร.

พจมาน เขยเดช. 2549. การศึกษาคุณภาพกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่เลี้ยงด้วยน้ำ
ความเค็มต่ำในสภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

สมชาย หวังวิบูลย์กิจ และ อัจฉรี เรืองเดช. 2542. การศึกษาคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยง
กุ้งกุลาดำ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 17(2):10-21.

อรอนงค์ ประวิทย์วิไลกุล. 2547. การเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งขาวแอฟฟิกัน (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) ในบ่อดินและบ่อที่ปูด้วยโพลีเอททิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alam, M.G.M., N. Jahan, L. Thalib, B. Wei and T. Maekawa. 2001. Effects of environmental factors on the seasonally change of phytoplankton population in a closed freshwater pond. **Envi. Int.** 27:363-371.

Allen, E.J. and E.W. Nelson. 1910. On the artificial culture of marine planktonic organisms. **J. Mar. Biol. Assoc.** 8:421-474.

Anonymous. 2007. **Cyanophyta image**. <http://www.rbgsyd.nsw.gov.au/.../48434/microcystis2.gif>, November 2007.

_____. 2008. **Cyanophyta image**. <http://www.silicasecchidisk.conncoll.edu/Pics/Other%20A1>, March 2008.

APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Methods for the Examiantion of Water and Wastewater 19th ed.** American Public Health Association. Washington, DC.

Bao, M.L., K Barbieri, D. Burrini, O. Griffini and F. Pantini. 1997. Determination of trace levels of taste and odor compounds in water by microextraction and gas chromatography ion trap detection mass spectrometry. **Wat. Res.** 31:1719-1722.

Bobbin, J. and F. Recknagel. 2001. Knowledge discovery for prediction and explanation of blue-green algal dynamics in lakes by evolutionary algorithms. **Ecol. Model.** 146:253-262.

- Boyd, C. E. 1995. **Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture**. Chapman and Hall, New York.
- Boyd, C.E. and P. Munsiri. 1996. **Phosphorus absorbtion capacity as an index of phosphorus status in soils of aquaculture areas of Thailand**. pp. 45-46. In R.L., Creswell, ed. **World Aquaculture'96 Book of Abstracts**. Department of Fisheries and the Chulabhorn Research Institute. Bangkok.
- Brock, T.D. 1973. Lower pH limit for the existence of blue-green algae: evolutionary and ecological implications. **Science** 179:480-483.
- Burford, M.A. and K.C.Williams. 2001. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. **Aquaculture** 198:79-93.
- Davies, J.M., M. Roxborough and A. Mazumder. 2004. Origins and implications of drinking water odours in lakes and reservoirs of British Columbia, Canada. **Wat. Res.** 38: 1900-1910.
- Domingues, R.B., C. Sobrino and H. Galvao. 2007. Impact of reservoir filling on phytoplankton succession and cyanobacteria blooms in a temperate estuary. **Estua. Coast. and Shelf Sci.** 74:31-43.
- Durrer, M., U. Zimmemann and F. Juttner. 1999. Dissolved and particle-bound geosmin in a mesotrophic lake (lake Zurich): spatial and seasonal distribution and the effect of grazers. **Wat. Res.** 33(17):3628-3636.

- Farmer, L.J., J.M. McConnell, T.D.J. Hagan and D.B. Harper. 1995. Flavor and off-flavor in wild and farmed Atlantic salmon from locations around Northern Ireland. **Wat. Sci. Technol.** 31:259-264.
- Fu, F. and P.R.F. Bell. 2003. Effect of salinity on growth, pigmentation, N₂ fixation and alkaline phosphatase activity of cultured *Trichodesmium* sp. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 257:69-76.
- Funge-Smith, S.J. and M.R.P. Briggs. 1998. Nutrient budgets intensive shrimp ponds: implications for sustainability. **Aquaculture** 164:117-133.
- Grimm, C.C., S.W. Lloyd and P.V. Zimba. 2004. Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised channel catfish. **Aquaculture** 236(1-4):309-319.
- Haider, S., V. Naithani, P.N. Viswanathan and P. Kakkar. 2003. Cyanobacterial toxins: a growing environmental concern. **Chemosphere** 52:1-21.
- Havens, K.E., R.T. Jame, T.L. East and V. H. Smith. 2003. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. **Envi. Poll.** 122:379-390.
- Herbst, D.B. and D.W. Blinn, 1998. Experimental mesocosm studies of salinity effects on the benthic algal community of a saline lake. **J. Phycol.** 34:772-778.
- Hillebrand, H. and M. Kahlert. 2002. Effect of grazing and water column nutrient supply on biomass and nutrient content of sediment microalgae. **Aqua. Bot.** 72:143-159.

- Hu, T.L. and P.C. Chiang, 1996. Odorous compounds from a cyanobacterium in a water purification plant in central Taiwan. **Wat. Res.** 30(10):2522-2525.
- Jones, G.J. and W. Wolfgang, 1995. In situ production of volatile odour compounds by river and reservoir phytoplankton populations in Australia. **Wat. Sci. Tech.** 31(11):145-151.
- Konopka, A. 1981. Influence of temperature, oxygen, and pH on a metalimnetic population of *Oscillatoria rubescens*. **App. Envi. Microb.** 42(1):102-108.
- Krom, M.D. and A. Neori, 1989. A total nutrient budget for an experimental intensive fish pond with circularly moving seawater. **Aquaculture** 83:345-358.
- Liu, W., W.T. Doris, D.M. Anderson, P.K.S. Lam and R.S.S. Wu. 2007. Effects of nutrients, salinity, pH and light:dark cycle on the production of reactive oxygen species in the alga *Chattonella marina*. **J. Exper. Mar. Biol. Ecol.** 346:76–86.
- Lim, L.C. and I. Sugahara. 1984. **A Manual on Chemical Analysis of Coastal Water and Bottom Sediment**. Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.
- Lloyd, S.W., J.M. Lea, P.V. Zimba and C.C. Grimm. 1998. Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneol in water using solid phase micro extraction procedures. **Wat. Res.** 32(7):2140-2146.
- Lorio, W.J., P.W. Perschbacher and P.B. Johnsen. 1992. Relationship between water quality, phytoplankton community and off-flavors in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) production ponds. **Aquaculture** 106:285-292.

- Lovell, R. T. and D. Broce. 1985. Cause of musty flavor in pond-cultured penaeid shrimp. **Aquaculture** 50(1-2):169-174.
- Martin, J.F. 1992. The use of sodium carbonate peroxyhydrate to treat off-flavor in commercial catfish ponds. **Wat. Sci. Technol.** 25:315-321.
- Nakamura, S. and S. Daishima. 2005. Simultaneous determination of 22 volatile organic compounds, methyl-*tert*-butyl ether, 1,4-dioxane, 2 methylisoborneol and geosmin in water by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**. 548:79-85.
- Nilsson T., T.O. Larsen, L. Montanarella and J. Mades. 1996. Application of head-space solid-phase microextraction for the analysis of volatile metabolites emitted by *Penicillium* species. **J. Micro. Meth.** 25: 245-255.
- Palmentier, F.P., V.Y.Taguchi, S.W.D.Jenkins, D.T. Wang, K.Ngo and D.Robinson. 1998. The determination of geosmin and 2-methylisoborneol in water using isotope dilution high resolution mass spectrometry. **Wat. Res.** 32 (2):287-294.
- Pillay, T.V.R. 1992. **Aquaculture and the Environment**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Parker, D. L., H. D. Kumar, L. C. Rai and J. B. Singh. 1997. Potassium salts inhibit growth of the cyanobacteria *Microcystis* spp. in pond water and difined media: implications for control of microcystin-producing aquatic bloom. **Appl. and Envi. Micro.** 63(6):2324-2329.
- Persson, P. 1980. Sensory properties and analysis of two muddy odour compounds, geosmin and 2-methylisoborneol, in water and fish. **Wat. Res.** 14(8):1113-1118.

- Rai, V., S.P. Tiwari and A.K. Rai. 2001. Effect of NaCl on nitrogen fixation of unadapted and NaCl-adapted *Azolla pinnata*–*Anabaena azollae*. **Aqua. Bot.** 71:109–117.
- Renolds, C.S. 1990. **The Ecology of Freshwater Phytoplankton**. Cambridge University Press, New York.
- Rippka, R., J. Deruelles, J. Waterbury, M. Herdman and R. Stanier. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. **J. Gen. Microbiol.** 111: 1-61.
- Robertson, R.F., A. Hammond, K. Jauncey, M.C.M. Beveridge and L.A. Lawton. 2006. An investigation into the occurrence of geosmin responsible for earthy–musty taints in UK farmed rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. **Aquaculture** 259:153-163.
- Robertson, R.F., K. Jauncey, M.C.M. Beveridge and L.A. Lawton. 2005. Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy–musty taint in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. **Aquaculture** 245:89-99.
- Robin, J., J. Cravedi, A. Hillenweck, C. Deshayes and D. Vallod. 2006. Off flavor characterization and origin in French trout farming. **Aquaculture** 260:128-138.
- Saadoun, I.M.K., K.S. Schrader, and W.T. Blevins. 2001. Environmental and nutritional factors affecting geosmin synthesis by *Anabaena* sp. **Wat. Res.** 35(5):1209-1218.
- Saito, A., T. Tokuyama, A. Tanaka, T. Oritani and K. Fuchigami. 1999. Microbiological degradation of (-)-geosmin. **Wat. Res.** 33(13):3033-3036.
- Schrader, K.K., M.Q. Regt, P.D. Tidwell, C.S. Tucker and S.O. Duke. 1998. Compounds with selective toxicity towards the off-flavor metabolite-producing cyanobacterium *Oscillatoria* cf. *chalybea*. **Aquaculture** 163:85-99.

- Silva, J.L., R.A. Bazemore and T. Kim. 2002. **Influence of physical and chemical intervention methods on geosmin and 2-MIB in channel catfish flesh.** http://www.ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_14423.htm, December 2003.
- Smith, P.T. 1996. Toxic effects of blooms of marine species of Oscillatorials on farmed prawns (*Penaeus monodon*, *Penaeus japonicus*) and brine shrimp (*Artemia salina*). **Toxicon** 14 (8):857-869.
- Spiteller, D., A. Jux, J. Piel and W. Boland. 2002. Feeding of [5,5-2H₂]-1-desoxy-d-xylulose and [4,4,6,6,6-2H₅]-mevalolactone to a geosmin-producing *Streptomyces* sp. and *Fossombronina pusilla*. **Phytochem.** 61:827–834.
- Sugiura, N., N. Iwami, Y. Inamori, O. Nishimura and T. Sudo. 1998. Significance of Attached Cyanobacteria relevant to the occurrence of musty odor in lake Kasumigaura. **Wat. Res.** 32(12):3549-3554.
- Sunesson, A., C. Nilsson and B. Andersson. 1995. Evaluation of adsorbents for sampling and quantitative analysis of microbial volatiles using thermal desorption-gas chromatography. **J. Chromatography A** 699:203-214.
- Sung, Y., T. Li and S. Huang. 2005. Analysis of earthy and musty odors in water samples by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography/ion trap mass spectrometry. **Talanta** 65:518-524.
- Saha, K.S., L. Uma and G. Subramanian. 2003. Nitrogen stress induced changes in the msrine cyanobacterium *Oscillatoria willei* BDU 130511. **FEMS Micro. Ecol.** 45:263-272.
- Swingle, H.S. 1969. **Methods of analysis for waters, organic matter, and pond bottom soils used in fisheries research.** Auburn University. USA.

- Tas, S., E. Okus and A. Aslan-Yilmaz. The blooms of a cyanobacterium, *Microcystis* cf. *aeruginosa* in a severely polluted estuary, the Golden Horn, Turkey. **Estua. Coast. and Shelf Sci.** 68:593-599.
- Tucker, C.S. and M. Ploeg. 1999. **Managing off-flavor problems in pond-raised catfish**. SRAC Publication No. 192. Mississippi State University. Netherlands.
- Walker H.L. and L.R. Higginbotham. 2000. An aquatic bacterium that lyses cyanobacteria associated with off-flavor of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Biol. Cont.** 18:71-78.
- Watson, S.B., B. Brownlee, T. Satchwill and E.E. Hargesheimer. 2000. Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME. **Wat. Res.** 34(10):2818-2828.
- Wei, B., N. Sugira and T. Maekawa. 2001. Use of artificial neural network in the prediction of algal blooms. **Wat. Res.** 35(8):2022-2028.
- Xie, L.Q., P. Xie and H.J. Tang. 2003a. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by *Microcystis* blooms an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake. **Envi. Poll.** 122:391-399.
- Xie, L., P. Xie, S. Li, H. Tang and H. LiU. 2003b. The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* blooms?. **Wat. Res.** 37:2073-2080.
- Yusoff, F.M., H.B. Matias, Z.A. Khalid and S. Phang. 2001. Culture of microalgae using interstitial water extracted from shrimp pond bottom sediments. **Aquaculture** 201:263-270.
- Zander, A.K. and P. Pingert. 1997. Membrane-based extraction for detection of tastes and odors in water. **Wat. Res.** 31:301-109.

- Zhu, M., F.J. Aviles, E.D. Conte, D.W. Miller and P.W. Perschbacher. 1999. Microwave mediated distillation with solid-phase microextraction: determination of off-flavor, geosmin and methylisoborneol, in catfish tissue. **J. Chrom. A** 833:223-230.
- Zhang, L., R. Hu and Z. Yang. 2005. Simultaneous pictogram determination of “earthy-musty” odorous compounds in water using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry coupled with initial cool programmable temperature vaporizer inlet. **J. Chrom. A** 1098:7-13.
- Zhang, L., R. Hu and Z. Yang. 2006. Routine analysis of off-flavor compounds in water at sub-part-trillion level by large-volume injection GC/MS with programmable temperature vaporizing inlet. **Wat. Res.** 40:699-709.
- Zimba, P.V. and C.C. Grimm. 2003. A synoptic survey of musty/muddy odor metabolites and microcystin toxin occurrence and concentration in southeastern USA channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque) production ponds. **Aquaculture** 218(1-4):81-87.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 สูตรอาหาร BG-11 Medium

สารเคมี	สูตรเคมี	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)
โซเดียมไนเตรท	NaNO_3	1.5
ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.04
แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.075
แคลเซียมคลอไรด์ 2-ไฮเดรต	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.036
กรดซิตริก	$\text{C}_6\text{H}_8\text{H}_{10}$	0.006
เฟอร์ริกแอมโมเนียมซิเตรท		0.006
อีดีทีเอ	EDTA	0.001
โซเดียมคาร์บอเนต	Na_2CO_3	0.02
trace metal mix A5 + Co		1 มิลลิลิตร
deionized water		ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

ปรับสารละลายให้ได้ pH 7.5

ที่มา: Rippka *et al.* (1979)

ตารางผนวกที่ 2 ส่วนประกอบของ trace metal mix A5 + Co

สารเคมี	สูตรเคมี	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)
กรดบอริก	H_3BO_3	2.86
แมงกานีสคลอไรด์ 4 -ไฮเดรต	$\text{Mn Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81
ซิงก์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.222
โซเดียมโมลิบเดต 2 -ไฮเดรต	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.390
คอปเปอร์ซัลเฟต 5 -ไฮเดรต	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.079
โคบอลไนเตรด 6 -ไฮเดรต	$\text{Co(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.049

ที่มา: Rippka *et al.* (1979)

ตารางผนวกที่ 3 สูตรอาหาร Allan blue green medium, modified

สารเคมี	สูตรเคมี	ความเข้มข้น (กรัม)
โซเดียมไนเตรท	NaNO_3	1.59
ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.039
แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.075
โซเดียมคาร์บอเนต	Na_2CO_3	0.02
แคลเซียมคลอไรด์ 4-ไฮเดรต	$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.02
โซเดียมเมตาซิลิเกต 9-ไฮเดรต	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.050
อีดีทีเอ	EDTA	0.01
กรดซิตริก	$\text{C}_6\text{H}_8\text{H}_{10}$	0.06
เฟอร์ริกคลอไรด์	FeCl_2	0.02
สารละลายธาตุอาหารรอง		1 มิลลิลิตร

ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

ที่มา: Allen and Nelson (1910)

ตารางผนวกที่ 4 สารละลายธาตุอาหารรอง

สารเคมี	สูตรเคมี	ความเข้มข้น (กรัม)
กรดบอริก	H_3BO_3	2.86
แมงกานีสคลอไรด์ 4-ไฮเดรต	$\text{Mn Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81
ซิงก์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.222
โซเดียมโมลิบเดต 2-ไฮเดรต	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.390
คอปเปอร์ซัลเฟต 5-ไฮเดรต	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.079
โคบอลต์ไนเตรด 6-ไฮเดรต	$\text{Co(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.049

ที่มา: Allen and Nelson (1910)



ภาพผนวกที่ 1 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม



ภาพผนวกที่ 2 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมปูด้วยพลาสติกพีอี



ภาพผนวกที่ 3 สภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีตะกอนดินแขวนลอย



ภาพผนวกที่ 4 สภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีตะกอนดินแขวนลอยมาก



ภาพผนวกที่ 5 สภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มี *Oscillatoria* sp. เจริญเติบโต



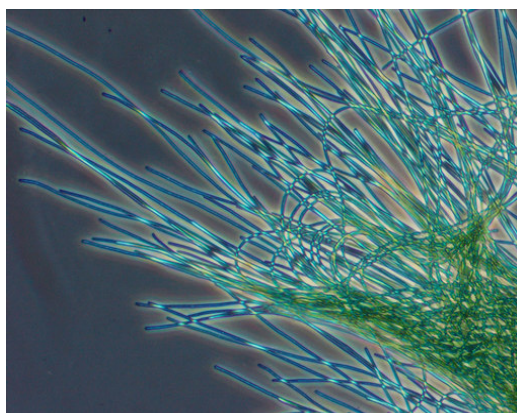
ภาพผนวกที่ 6 สภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มี *Microcystis* sp. เจริญเติบโต



ภาพผนวกที่ 7 กรองเซลล์ *Microcystis* จากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวด้วยถุงกรองแพลงก์ตอน



ภาพผนวกที่ 8 นำเซลล์ไปตรวจเช็คภายใต้กล้องจุลทรรศน์



ภาพผนวกที่ 9 ลักษณะเส้นสายของ *Oscillatoria*



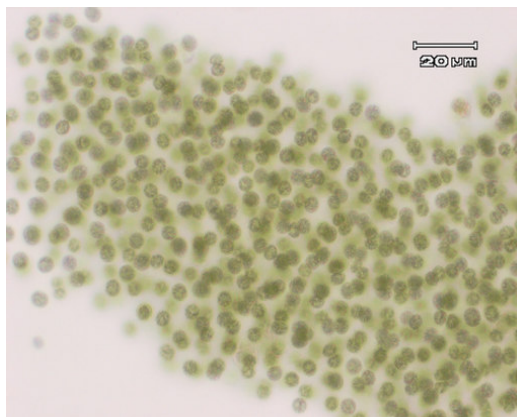
ภาพผนวกที่ 10 ลักษณะเซลล์เส้นสายของ *Oscillatoria*



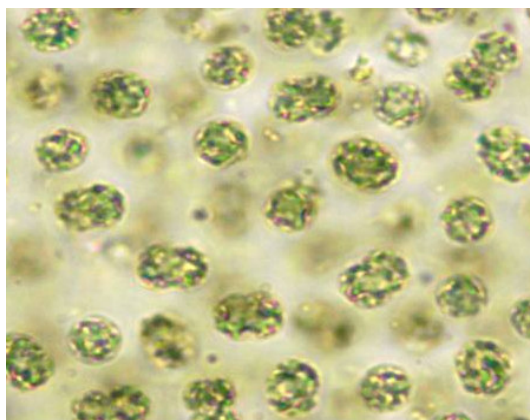
ภาพผนวกที่ 11 ตรวจเช็คเซลล์หัวเชื้อ *Oscillatoria*



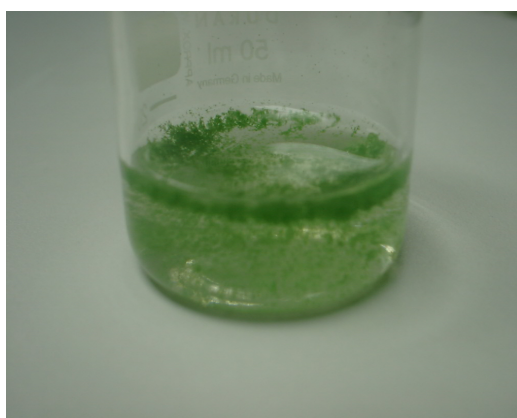
ภาพผนวกที่ 12 ลักษณะ *Oscillatoria* ที่ขยายสำหรับใช้ทดลอง



ภาพผนวกที่ 13 ลักษณะ โคโลนีของ *Microcystis*



ภาพผนวกที่ 14 ลักษณะเซลล์ *Microcystis*



ภาพผนวกที่ 15 หัวเชื้อเซลล์ *Microcystis* ที่แยกจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว



ภาพผนวกที่ 16 ขยายเซลล์ *Microcystis* เพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพผนวกที่ 17 การทดลองผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria*



ภาพผนวกที่ 18 การทดลองผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria*



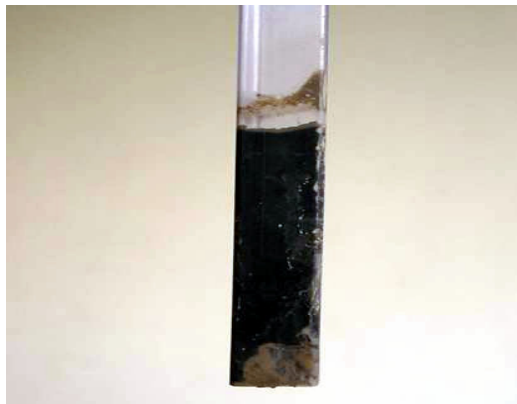
ภาพผนวกที่ 19 การทดลองผลของไนโตรเจนและฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย
Microcystis



ภาพผนวกที่ 20 core เก็บตัวอย่างดิน



ภาพผนวกที่ 21 ตัวอย่างดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาว



ภาพผนวกที่ 22 ท่อเก็บตัวอย่างตะกอนดิน



ภาพผนวกที่ 23 ตัวอย่างตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งขาว



ภาพผนวกที่ 24 สุ่มตัวอย่างกุ้งแวนนาไม่ด้วยแห



ภาพผนวกที่ 25 ตัวอย่างกุ้งแวนนาไมจากบ่อเลี้ยง



ภาพผนวกที่ 26 ตัวอย่างกุ้งแวนนาไมจากบ่อเลี้ยง



ภาพผนวกที่ 27 ชุดอุปกรณ์ GC/MS



ภาพผนวกที่ 28 ถังแก๊ส helium บริสุทธิ์



ภาพผนวกที่ 29 เครื่อง GC/MS



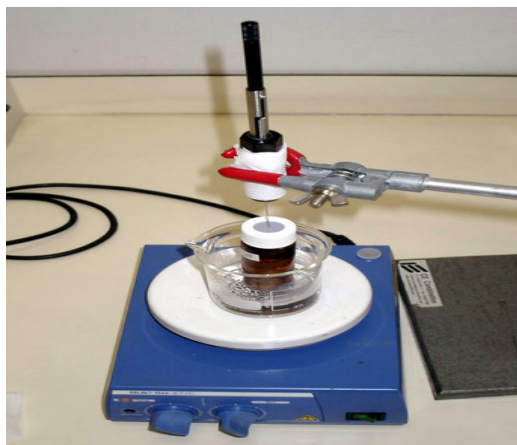
ภาพผนวกที่ 30 สารมาตรฐาน geosmin



ภาพผนวกที่ 31 ขวด vial สีชาสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง



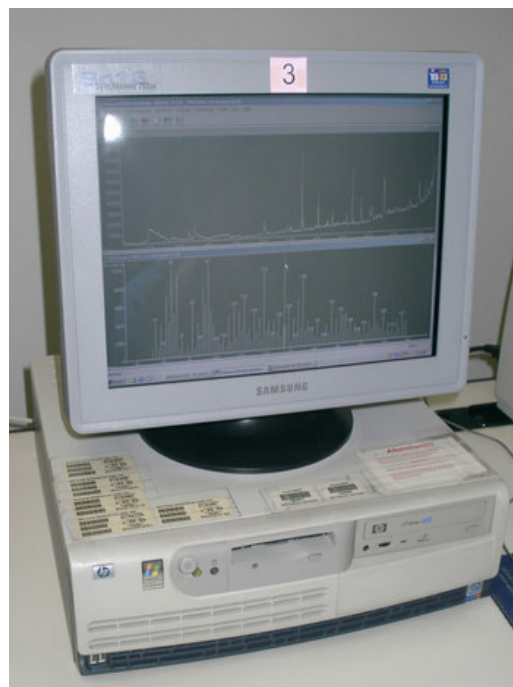
ภาพผนวกที่ 32 SPME holder



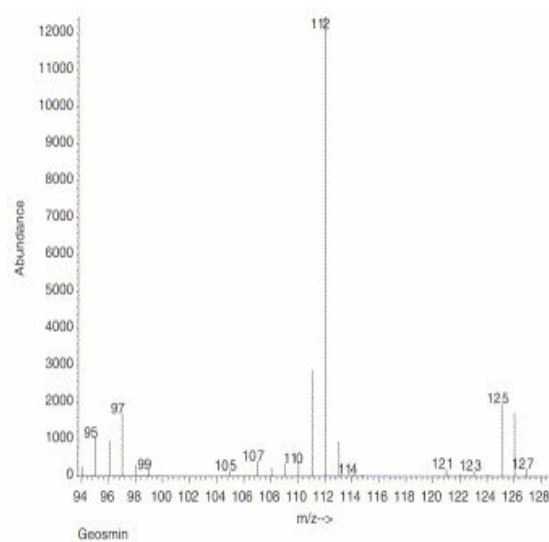
ภาพผนวกที่ 33 ให้ความร้อนกับตัวอย่าง โดยมีSPME fiber เป็นตัวดูดสาร



ภาพผนวกที่ 34 นำ SPME fiber ส่งตัวอย่างเข้าเครื่อง GC/MS



ภาพผนวกที่ 35 คอมพิวเตอร์ประมวลผลการวิเคราะห์สาร geosmin



ภาพผนวกที่ 36 mass spectrum จากการวิเคราะห์สาร geosmin

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสมชาย หวังวิบูลย์กิจ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	20 มกราคม 2506
สถานที่เกิด	อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง) เกียรตินิยมอันดับ 2 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน ทบวงมหาวิทยาลัย