



การศึกษานิตของสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิว และวิธีทดสอบ
สารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของสาหร่าย

STUDY ON SURFACE ALGAE AND METHODS OF CONTROL



อธิปัทนาคาร

ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2540

๖๗

๕๕๖๗

๒๕๔๐

๓.๓

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษานิตของสารรายได้เจริญบนพื้นผิวและวิธีทดสอบ
สารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของสารรายได้

นิพนธ์ ทัดแก้ว

นิพนธ์ ทัดแก้ว
ผู้วิจัย

๑-๑-๑๐๑๒

รุ่งจรัส หุดะเจริญ วท.บ., วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อรุณรัตน์ มหาจันทร์

อรุณรัตน์ มหาจันทร์ วท.บ., วท.ม., Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

วิทยา ศรีมโนภาส

วิทยา ศรีมโนภาส วท.บ., วท.ม., D.Sc.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อดุลย์ วิริยะเวชกุล

อดุลย์ วิริยะเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

วิทยา ศรีมโนภาส

วิทยา ศรีมโนภาส วท.บ., วท.ม., D.Sc.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษานิตของสาร่ายที่เจริญบนพื้นผิวและวิธีทดสอบ
สารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของสาร่าย

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม
วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2540

.....
นิพนธ์ ทอดแก้ว

นิพนธ์ ทอดแก้ว
ผู้วิจัย

.....
รุ่งจิต หุดะเจริญ วท.บ., วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
อภารัตน์ มหาพันธ์ วท.บ., วท.ม., Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
วิทยา ศรีมโนภาส วท.บ., วท.ม., D.Sc.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
อดุลย์ วิริยะเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

.....
รุ่งจิต หุดะเจริญ วท.บ., วท.ม.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยมหิดล

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวนิชนันท์ ทัดแก้ว

วัน เดือน ปีเกิด 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2512

สถานที่เกิด จังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย

ประวัติการศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2530-2534:
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วาริชศาสตร์)
มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2536-2540:
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

ทุนการศึกษา ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์บางส่วนจาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุดะเจริญ ประธานกรรมการควบคุม ดร. วิทยา ศรีมโนภาส ดร. อาภารัตน์ มหาพันธ์ คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจแก้ไข และปรับปรุงวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์เก็บรักษาและรวบรวมข้อมูลจุลินทรีย์ และห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่อนุเคราะห์ สถานที่ อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง

ขอขอบคุณ Alphani International Co. Ltd. ที่ให้การสนับสนุนครุภัณฑ์ และสารเคมี

ขอขอบคุณ บริษัททีโอเอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่เชื้อเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทโกเวนเจอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนสารเคมี

ขอขอบคุณพี่ น้องและเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

นิพนธ์ ทัดแก้ว

ชื่อวิทยานิพนธ์

การศึกษานิดของสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิว และวิธีทดสอบ
สารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของสาหร่าย

ผู้วิจัย

นิชนันท์ ทัดแก้ว

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

รุ่งจรัส หุตะเจริญ วท.ม.

อาภารัตน์ มหาพันธ์ Ph.D.

วิทยา ศรีมโนภาส D.Sc.

วันที่สำเร็จการศึกษา

8 พฤษภาคม 2540

บทคัดย่อ

ได้ทำการสำรวจและจำแนกชนิดและการแพร่กระจายของสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นผิว เพื่อคัดเลือกสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานสำหรับการทดสอบความคงทนของสี โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากพื้นผิวอาคารบ้านเรือน ผังคอนกรีตที่ทาสีกำแพง รั้ว โบราณสถานและโบราณวัตถุ จำนวน 100 ตัวอย่าง สามารถจำแนกสาหร่ายได้ 3 class 26 สกุล 59 สายพันธุ์ เมื่อทำการจำแนกตามความถี่ของสาหร่ายที่พบในแต่ละสกุล พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Phormidium* เป็นสกุลที่พบมากที่สุด (ร้อยละ 76) รองลงมาเป็น *Nostoc* (ร้อยละ 44) ส่วนสาหร่ายสีเขียวที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Chlorococcum* (ร้อยละ 41) นำสาหร่ายที่ได้มาทำการคัดเลือกสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานที่มีความทนทานสูงต่อสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมสาหร่าย โดยนำมาทดสอบกับ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3% โดยวิธี streaked plate บนอาหารวุ้น BG-11 ผสมสารทดสอบ พบว่า *Oscillatoria jarsovensis* TISTR 8980 และ *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 มีความทนทานต่อสารเคมีมากที่สุด และเมื่อใช้เกณฑ์ในการพิจารณาพร้อมกับจากสกุลที่พบได้มากและบ่อย พบว่า สาหร่ายที่เหมาะสมในการนำมาทดสอบความคงทนของสีคือ *Phormidium angustissimum* TISTR 8979, *Nostoc paludosum* TISTR 8978, *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Oscillatoria jasarvensis* TISTR 8980 และ *Scenedesmus* sp. TISTR 8982

นำสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานมาทดสอบกับสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย 3 กลุ่ม โดยใช้วิธีทดสอบ 2 วิธี คือ algal lawn technique และ liquid culture toxicity test พบว่าวิธี algal lawn technique เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีในสี และเมื่อทำการศึกษาค้นคว้าของสารเคมีที่เตรียมแผ่นทดสอบในลักษณะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่าย พบว่าการเตรียมแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีในรูปฟิล์มสี ควรวางทิ้งไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลา 1 วัน โดยไม่ต้องนำไปผึ่งแดด แล้วจึงนำไปทดสอบ แต่เมื่อทำการทดสอบโดยนำแผ่นทดสอบที่เตรียมได้ไปผ่านการชะล้างในน้ำที่ไหลผ่านตลอด รวมทั้งการนำแผ่นทดสอบไปเร่งสภาวะ พบว่าประสิทธิภาพของสารเคมีในฟิล์มสีลดลง เนื่องจากได้รับผลกระทบโดยตรงกับสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไปคือ แสง อุณหภูมิและความชื้น และเมื่อทำการศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองกับสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีโดยวิธี algal lawn technique พบว่าสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองจะมีความทนทานต่อสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น single molecule biocide และ formulated biocide มากกว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ ขณะที่เมื่อทดสอบกับสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น copper-based biocide พบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศสามารถทนทานต่อสารเคมีได้มากกว่า เมื่อทำการทดสอบความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบพบว่าสีที่นำมาทดสอบจำนวน 13 ตัวอย่าง มีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่สามารถป้องกันการเจริญของสาหร่ายได้

Thesis Title Study on Surface Algae and Methods of Control
Name Nichanan Tadkaew
Degree Master of Science (Technology of Environmental Management)
Thesis Supervisory Committee
 Rungjarat Hutacharoen M.Sc.
 Aparat Mahakhant Ph.D.
 Vithya Srimanobhas D.Sc.
Date of Graduation 8 May B.E. 2540 (1997)

ABSTRACT

Surveying and collecting of local microalgae from the surface of concrete walls, buildings, houses, historic buildings and antiques was carried out towards 100 samples. The taxonomic study indicated that the microalgae belong to 3 classes 26 genus and 59 strains. The most frequently-found Cyanophyceae were the genus *Phormidium* (76%) and *Nostoc* (44%) respectively. The most frequently-found Chlorophyceae was the genus *Chlorococcum* (41%).

In order to select for the standard strains which were most resistant to the chemical, the algal strains were tested against the common algicide, copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) at the concentration of 1, 2 and 3% by streaked plate method. *Oscillatoria jatorvensis* TISTR 8980 and *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 showed the highest resistance to $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. By using the criterion of the frequency of occurrence and the resistance to copper sulfate, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979, *Nostoc paludosum* TISTR 8978, *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Oscillatoria jatorvensis* TISTR 8980 and *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 were selected as local standard strain.

Three groups of algicidal biocides were tested with standard algal strains by 2 methods, algal lawn technique and liquid culture toxicity test to select for the suitable testing methods. The algal lawn technique preparing by pour plate method was selected from this study. When exposed the coated panel to leaching in running water and conducting test on paint film using

a fluorescent UV-condensation light and water-exposure apparatus, the efficiency of algicidal biocide in paint film was decreased due to weather, particularly ultraviolet light and water.

When determining resistance between local strains and foreign strains to algicidal biocide with single molecule and formulated biocide, the local strains were more resistant than foreign strains. On the contrary, testing with copper-based biocide, the foreign strains were more resistant than local strain.

When determining the resistance of commercial paint, The algicidal activities were shown in 2 samples out of 13 samples.



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวคิดในการทำวิจัย	7
1.3 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย	10
2.2 สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเกาะตัว	13
2.3 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิว	20
2.4 ผลของการเจริญเติบโตของสาหร่ายต่อการเสื่อมสภาพของพื้นผิววัตถุ	21
2.5 การกำจัดและการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิว	24
2.6 การประเมินความสามารถของสารต้านสาหร่าย	30
2.7 การประเมินสีป้องกันสาหร่าย	31
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสายพันธุ์สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นผิว	38
3.2 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ทนทานต่อสารเคมีเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์มาตรฐาน	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.3 การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย	46
	3.4 การศึกษาผลของสารเคมีบนแผ่นทดสอบที่เตรียมในลักษณะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	49
	3.5 การศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย	51
	3.6 การศึกษาความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบ	52
4	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	
	4.1 ผลการสำรวจสายพันธุ์สาหร่ายและการแพร่กระจายของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของพื้นผิว	53
	4.2 ผลการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ทนทานต่อสารเคมีเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์มาตรฐานในการทดสอบ	57
	4.3 ผลการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายทดสอบ	63
	4.4 ผลการศึกษาผลของสารเคมีบนแผ่นทดสอบที่เตรียมในลักษณะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่าย	76
	4.5 ผลการศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย	92
	4.6 ผลการศึกษาความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบ	94
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการศึกษา	95
	5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	98
	บรรณานุกรม	99

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
ก. รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย	106
ข. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ค่าความแปรปรวนค่าเฉลี่ยไชนัยยัง รอบขั้นตอนทดสอบที่เตรียม algal lawn 3 วิธี	112
ค. รายชื่อสีน้ำพลาสติก (emulsion paint) ชนิดทาภายนอกในทาง การค้าที่ใช้ในการทดสอบ	113



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สาหร่ายที่พบในอากาศ เลี้ยงในอาหาร Bold Basal Medium 15
2	ความถี่ที่พบของสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิวผนังในสิงคโปร์ จำนวน 103 ตัวอย่าง 16
3	แสดงชนิดของสาหร่ายที่เกาะตัวบนพื้นผิววัตถุ 17
4	แสดงรายชื่อของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดจุลินทรีย์ 29
5	แสดงความแตกต่างของสาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ 37
6	จำแนกตัวอย่างที่สุ่มเก็บจากแหล่งต่าง ๆ 39
7	จำแนกตัวอย่างสาหร่ายที่สุ่มเก็บตามจังหวัด 40
8	อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (BG-11) 42
9	ความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่ายจากตัวอย่างที่เก็บ 55
10	ความถี่ที่พบของสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิว จำนวน 100 ตัวอย่าง 56
11	แสดงความทนทานของสายพันธุ์สาหร่ายที่มีต่อระดับความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในช่วงเวลาต่าง ๆ 59
12	แสดงผลของสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของ สาหร่ายทดสอบ 65
13	แสดงผลของสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่ ความเข้มข้น 3% ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ โดยการเตรียม algal lawn ที่ต่างกัน 3 วิธี 71
14	แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารป้องกันและกำจัดสาหร่ายโดย วิธี liquid culture toxicity test 74
15	แสดงผลการศึกษาความสามารถในการละลายของสารเคมีต่อการเกิด ไบโอฟิล์มและการเจริญของสาหร่ายรอบขึ้นทดสอบ 79
16	แสดงผลของสารเคมีที่เตรียมในรูปแบบฟิล์มสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ 82
17	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ฆ่าเชื้อแล้วกับแผ่นฟิล์มสีที่ไม่ได้ ฆ่าเชื้อต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ถูกชะล้างและไม่ถูกชะล้างต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	87
19	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการเร่งสภาวะและไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	90
20	แสดงผลการศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย	93



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	การเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งชักนำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของพืชชั้นสูง คือ ไลเคนส์ (lichens), พืชจำพวกมอส (bryophytes), พืชจำพวกเฟิร์น (pteridophytes) และพืชที่สร้างเมล็ด (spermatophytes) ตามลำดับ	4
2	การเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวอาคาร บ้านเรือนที่ทาสี ขณะที่มีการสร้างกลุ่มเซลล์ของสาหร่ายทำให้นั่งอาคารเปลี่ยนสีไปจากเดิม เกิดคราบสีเขียวคล้ำ น้ำตาลดำ ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ มีผลต่อความสวยงามของตัวอาคาร	5
3	การเจริญเติบโตของสาหร่ายทำลายฟิล์มสี โดยภายหลังจากที่พื้นผิวบริเวณที่มีสาหร่ายเจริญอยู่แห้งตัวลง ส่งผลให้เกิดการหลุดตัวและการหลุดร่อนของฟิล์มสี	6
4	แสดงกรอบแนวคิดของการวิจัย	8
5	ผังแสดงการทดสอบสีด้านสาหร่ายโดยวิธี agar diffusion test ของ Acima Chemical Industrial Ltd.	34
6	ผังแสดงวิธีการทดสอบความคงทนของฟิล์มสี สารเคลือบและวัสดุที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญของสาหร่ายของ ASTM D5589-94	35
7	ผังแสดงวิธีการทดสอบความต้านทานสาหร่ายของสีอีพอกซีชั้นทาภายนอกอาคาร (SS345) ของ Singapore Standard 345:1990	36
8	แสดงการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ทนทานต่อสารเคมี $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยวิธี streaked plate	44
9	แสดงตู้ควบคุมความชื้น (humidity cabinet)	45
10	สาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐาน (standard strain)	60
11	แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี spread plate	68
12	แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate	69
13	แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี bilayer plate	70
14	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการฆ่าเชื้อกับ ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	85

สารบัญภาพ (ต่อ)		หน้า
ภาพที่		
15	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ถูกชะล้างและไม่ถูกชะล้างต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	88
16	แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการเร่งสภาวะและไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ	91



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน มีฝนตกชุกและอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดปี ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและเอื้ออำนวยให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ สามารถเจริญได้ดี สาหร่ายจัดเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญได้ทั่วไปบนพื้นผิวเปียกชื้นที่ได้รับแสงอย่างเพียงพอ (Whiteley, 1973; Richardson, 1973a) การเกาะของสาหร่ายบนพื้นผิวได้รับความสนใจจากนักวิจัยในประเทศสหราชอาณาจักรและในยุโรป โดยมีการศึกษาถึงปัญหามานานกว่า 20 ปีแล้ว อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นกับประเทศในเขตอบอุ่นและเขตหนาวมีความรุนแรงไม่มากเท่ากับในเขตร้อน เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศในเขตอบอุ่นและเขตหนาว จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลอย่างชัดเจน ทำให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ไม่สามารถเจริญได้อย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงที่มีสภาพอากาศเย็นหรือแห้งแล้ง ไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโต จุลินทรีย์จะอยู่ในสภาพที่เป็นสปอร์ แต่เมื่อมีสภาวะอากาศเหมาะสมหรือมีความชื้นสูง จุลินทรีย์จึงจะสามารถเจริญได้ดี ขณะที่ในเขตร้อนสภาพอากาศที่ร้อนและชื้น จุลินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งสาหร่ายสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพทางชีววิทยา (biodegradation) สาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างกรดอินทรีย์ที่กัดกร่อนพื้นผิว (Degliis, 1962 อ้างใน Wee and Lee, 1980) และมีผลในการกัดกร่อนสีที่ทาภายนอก (Whiteley, 1966) รวมทั้งมีการทำลายฟิล์มของสี โดยขณะที่พื้นผิวบริเวณที่มีสาหร่ายเจริญอยู่แห้งตัวลง นอกจากจะก่อให้เกิดการหดตัวและการหลุดร่อนของฟิล์มสีแล้วยังทำให้สภาพพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อกลุ่มเซลล์ของสาหร่ายแห้งหรือตาย จะปรากฏให้เห็นแนวหรือคราบสีน้ำตาลดำ ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ ในบางสภาวะสาหร่ายอาจอยู่ในรูปสปอร์ ทำให้มีการฟุ้งกระจายไปในอากาศ และมีการสร้างกลุ่มเซลล์ขึ้นใหม่บนพื้นผิว ซึ่งจะขัดขวางการไหลของน้ำ เกิดการกักเก็บน้ำบนพื้นผิวเป็นผลให้เกิดความชื้นสะสมบนพื้นผิวอาคาร ชักนำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของพืชชั้นสูงขึ้นตามลำดับต่อไป (succession) คือไลเคนส์ (lichens), พืชจำพวกมอส (bryophytes), พืชจำพวกเฟิร์น (pteridophytes) และพืชที่สร้างเมล็ด

(spermatophytes) ซึ่งพืชในกลุ่มต่าง ๆ ที่กล่าวมาจะมีบทบาทต่อการกัดกร่อนทางเคมีและกายภาพอย่างรุนแรงต่อไป (Morton, 1979)

สาหร่ายนอกจากทำให้เกิดปัญหาต่อพื้นผิววัตถุต่าง ๆ อย่างเห็นได้ชัดแล้วยังเป็นสาเหตุสำคัญที่มีบทบาทต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานและโบราณวัตถุทั้งทางตรงและทางอ้อม ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโบราณสถานและโบราณวัตถุซึ่งเป็นมรดกทางวัฒนธรรมและมีคุณค่าในด้านศิลปกรรมซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงความเจริญรุ่งเรืองในอดีตของประเทศ ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Sriplog (1994) ได้ศึกษาความหลากหลายของพืชต่างๆ ที่เจริญบนโบราณสถานที่มีโครงสร้างจาก อิฐ พบสาหร่าย ไลเคนส์ มอส ลิเวอร์เวิร์ต และพืชชั้นสูงที่มีท่อลำเลียง เจริญบนพื้นผิวและเข้าทำลายตัวโบราณสถาน ก่อให้เกิดการแตกหรือแยกออกเป็นชิ้น ทำให้เกิดรอยร้าว Mishra และคณะ (1994) ได้ศึกษาถึงวิธีการควบคุมการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิวของโบราณสถานในประเทศอินเดีย โดยทำการประเมินสารพิษบางตัวในหลอดทดลอง จะเห็นได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะโบราณสถานและโบราณวัตถุเท่านั้น โดยที่บางประเทศได้ให้ความสำคัญต่อปัญหานี้ที่เกิดกับอาคารบ้านเรือน Wee และ Lee (1980) ได้ทำการศึกษาชนิดของสาหร่ายที่พบบนตึกอาคารสูงในประเทศสิงคโปร์ซึ่งได้รับผลกระทบจากการเจริญของสาหร่ายอย่างรุนแรง เช่นเดียวกับ Yong และคณะ (1972) ได้รายงานถึงสาหร่ายที่สามารถเจริญบนพื้นผิวคอนกรีตและพื้นผิวที่ทาสีในสิงคโปร์ รวมทั้งได้หาวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมหรือป้องกันและชะลอการเจริญของสาหร่ายโดยเฉพาะบนพื้นผิวที่ทาสี ซึ่งได้ทำการศึกษาทดลองและพัฒนา จนกระทั่งมีการกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทาภายนอกนำมาใช้ (Gillatt, 1990) โดยใช้สาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia odorata* เป็นตัวทดสอบความทนทานต่อสาหร่ายของสีอิมัลชันที่ใช้ทาพื้นผิวดึกอาคารในสิงคโปร์ (Singapore Institute of Standards, 1990) เนื่องจากศึกษาพบว่าสาหร่ายชนิดนี้เป็นสายพันธุ์ท้องถิ่นที่สำคัญในการก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนฟิล์มสีและพื้นผิวของอาคารในสิงคโปร์อย่างเห็นได้ชัดเจน เช่นเดียวกับในประเทศอังกฤษ Thor Chemicals (UK) Ltd. ได้ทำการทดสอบความต้านทานต่อการเจริญของสาหร่ายสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทาพื้นผิว โดยสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบเป็นสาหร่ายในสกุล *Chlorella*, *Pleurococcus*, *Stichococcus*, *Trentepohlia* และ *Trebouxia* โดยใช้ในรูปแบบของเซลล์แขวนลอย (cell suspension) ที่ผสมเข้าด้วยกัน ขณะที่ International Biodeterioration Research Group (IBRG) ได้พัฒนาวิธีการทดสอบสารต้านสาหร่าย ซึ่งผ่านการพิจารณารับรองจาก European Standards Organization โดยใช้สาหร่าย 5 ชนิด คือ *Gloeocapsa alpicola*, *Nostoc commune*, *Pleurococcus* sp., *Stichococcus*

bacillaris และ *Trentepohlia aurea* ในรูปเซลล์แขวนลอยที่ผสมเข้าด้วยกัน (Gillatt, 1990) ในประเทศ สวิสเซอร์แลนด์ Acima Chemical Industries Ltd. ได้ทำการพัฒนาวิธีการทดสอบสีทาภายนอกที่ ผสมสารต้านสาหร่าย โดยสาหร่ายที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีรูปร่างทรงกลม และเป็นเส้นสาย (ในสกุล *Chlorococcum* และ *Ulotrichaceae* ตามลำดับ) โดยนำมาผสมเข้าด้วยกัน ซึ่งสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้แยกได้จากฟิล์มสีที่พบว่ามีความเจริญอยู่ จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ สาหร่ายมาตรฐานที่นำมาใช้ในการทดสอบในแต่ละประเทศจะเป็นสายพันธุ์พื้นเมือง (local strain) นั้นเอง

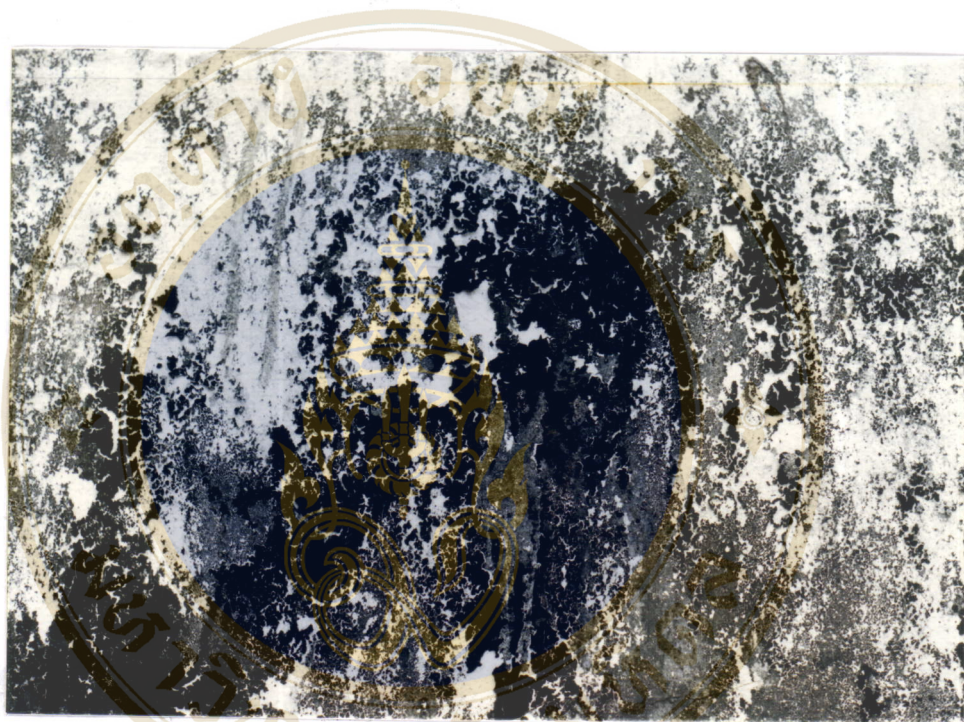
ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะศึกษาสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายที่ก่อให้เกิด ปัญหาการเสื่อมสภาพของสีและพื้นผิวต่าง ๆ (ภาพที่ 1-3) ได้แก่ ผนังอาคารทั้งที่ทาสีและไม่ทาสี กำแพง รั้ว วัด โบราณสถานและโบราณวัตถุในประเทศไทย โดยเลือกศึกษาในพื้นที่ที่เริ่มเห็น ปัญหานี้ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ ซึ่งมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจสูง มีการก่อสร้างตึกอาคารสูงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวไม่ได้อย่างแน่นอน รวมทั้งพื้นที่ ในจังหวัดภาคใต้ที่มีฝนตกชุกเกือบตลอดปี และพื้นที่ที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ เช่น โบราณสถานและโบราณวัตถุ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสาย พันธุ์มาตรฐานของประเทศไทย สำหรับใช้ในการทดสอบความทนทานของสี รวมทั้งทำการศึกษา วิธีการทดสอบสารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญของสาหร่าย เพื่อช่วยควบคุมและป้องกันการเสื่อม สภาพทางชีวภาพ ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงพื้นผิว และเป็นแนวทางในการกำหนดวิธี มาตรฐานในการทดสอบความทนทานของสี สารเคลือบและวัสดุที่เกี่ยวข้องต่อไป



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งชักนำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของพืชชั้นสูง
คือ ไลเคนส์ (lichens), พืชจำพวกมอส (bryophytes), พืชจำพวกเฟิร์น
(pteridophytes), และพืชที่สร้างเมล็ด (spermatophytes) ตามลำดับ
สถานที่ : เจดีย์วัดใหญ่ชัยมงคล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวอาคารบ้านเรือนที่ทาสี ขณะที่มีการสร้างกลุ่มเซลล์ของสาหร่ายทำให้นั่งอาคารเปลี่ยนสีไปจากเดิม เกิดคราบสีเขียวคล้ำ น้ำตาลดำ ก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ มีผลต่อความสวยงามของตัวอาคาร



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของสาหร่ายทำลายฟิล์มสี โดยภายหลังจากที่พื้นผิวบริเวณที่มีสาหร่ายเจริญอยู่แห้งตัวลง ส่งผลให้เกิดการหดตัวและการหลุดร่อนของฟิล์มสี

1.2 แนวคิดในการทำวิจัย

การเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิวพบได้ทั่วไปในเขตร้อน ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญ ก่อให้เกิดปัญหากับพื้นผิวภายนอกอาคารหรือตึกทั้งที่ทาสีและไม่ทาสี โบราณสถานต่างๆ ในแง่ความสวยงาม การเสื่อมสภาพของสีทาอาคาร การเกิดคราบเปื้อนเป็นด่างดวงสีต่าง ๆ เช่น คราบสีดำ คราบสีน้ำตาล ตลอดจนการหลุดร่อนของสีและการสึกกร่อนของพื้นผิวอาคารเนื่องจากสาหร่ายบางชนิดสร้างกรดอินทรีย์หลายชนิดออกมากัดกร่อนเนื้อวัสดุ และยังก่อให้เกิดการเจริญของพืชชั้นสูงเป็นลำดับต่อไป โดยเป็นเรื่องที่น่าสนใจและประเทศไทยยังไม่มีมีการค้นคว้าวิจัยทางด้านนี้เลย จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาถึงชนิดของสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิววัตถุ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานเพื่อการทดสอบความทนทานของสี รวมถึงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายที่จะให้ผลใกล้เคียงกับสภาพความจริงมากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาที่ต้องทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง ๆ ในการศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการกำหนดวิธีมาตรฐานเพื่อการทดสอบความทนทานของสีต่อสาหร่ายในขั้นต่อไป (ภาพที่4)



ภาพที่ 4 แสดงกรอบแนวคิดของการวิจัย

1.3 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย

1. สำรวจและจัดจำแนกชนิดของสารร้ายจากพื้นผิวต่าง ๆ เช่น กำแพง รั้ว ผนังตึก อาคารที่ทาสีและไม่ทาสี และโบราณสถานต่าง ๆ
2. คัดเลือกสายพันธุ์สารร้ายที่มีเหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวทดสอบกับสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสารร้าย
3. วิธีที่เหมาะสมในการทดสอบความสามารถของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสารร้าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของพื้นผิวอาคารในทางชีววิทยาโดยสารร้าย
2. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงพื้นผิว
3. เป็นแนวทางในการกำหนดวิธีมาตรฐานในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสารร้าย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย

สาหร่าย หมายถึง พืชชั้นต่ำที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้น และ ใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ไปจนถึงขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจเป็นเส้นสาย (filament) หรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง โดยมีส่วนที่คล้ายราก ลำต้น และใบ รวมเรียกว่า ทัลลัส (thallus) (กาญจนาภรณ์, 2527)

2.1.1 การจัดหมวดหมู่ของสาหร่าย

ในปัจจุบันสาหร่ายถูกจัดไว้ใน 2 อาณาจักรด้วยกัน คือ อาณาจักรโมเนอรา ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ใน Division Cyanophyta ส่วนสาหร่ายอื่น ๆ นั้น จัดไว้ในอาณาจักร โปรติสตา สำหรับ Bold และ Wynne (1978) ได้จัดจำแนกสาหร่ายที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็น 9 ดิวิชัน (division) ดังนี้

1. Division Cyanophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae)
2. Division Chlorophyta ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว (green algae)
3. Division Charophyta ได้แก่ สาหร่ายไฟ (stone algae)
4. Division Euglenophyta ได้แก่ euglenoid
5. Division Phaeophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae)
6. Division Chrysophyta ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (golden algae), สาหร่ายสี
เขียวแกมเหลือง (yellow-green algae) และ diatom
7. Division Pyrrhophyta ได้แก่ dinoflagellates
8. Division Cryptophyta ได้แก่ cryptomonads
9. Division Rhodophyta ได้แก่ สาหร่ายสีแดง (red algae)

2.1.2 รูปร่างลักษณะ

สาหร่ายมีรูปร่างลักษณะหลายแบบด้วยกัน อาจเป็นเซลล์เดี่ยวหรือหลายเซลล์ ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 เซลล์เดี่ยว (unicellular form หรือ unicell) พวกเซลล์เดี่ยวอาจเคลื่อนที่ได้หรือไม่เคลื่อนที่ มี 3 แบบ ได้แก่

- เซลล์เดี่ยวที่มีหนวด หรือเซลล์เดี่ยวที่เคลื่อนที่ได้ (flagellated unicell หรือ motile unicell) เช่น *Chlamydomonas*

- ไรโซพอดียัล ยูนิเซลล์ (rhizopodial unicell) เป็นพวกเซลล์เดี่ยวที่ไม่มีหนวด และไม่มีผนังเซลล์ที่แท้จริง มีการเคลื่อนที่แบบอะมีบา (amoeboid movement) เช่น *Euglena*

- คอคคอยด์ ยูนิเซลล์ (coccoid unicell) เป็นพวกเซลล์เดี่ยวที่ไม่มีหนวด และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตนเอง เช่น *Chlorella*

2.1.2.2 กลุ่มเซลล์ (colonial form หรือ colony) เป็นกลุ่มเซลล์ซึ่งมีรูปร่างลักษณะเหมือนกัน ทำหน้าที่เดียวกันมาอยู่ร่วมกัน กลุ่มเซลล์นี้อาจเคลื่อนที่ได้หรือไม่ได้ มี 4 แบบ ได้แก่

- ซีโนเบียม (coenobium) เป็นกลุ่มเซลล์ที่มีจำนวนแน่นอน และเซลล์เรียงกันเป็นระเบียบ บางชนิดเคลื่อนที่ได้ เช่น *Gonium* บางชนิดเคลื่อนที่ไม่ได้ เช่น *Scenedesmus*

- แบบพาล์มลลา (palmellate form) เป็นกลุ่มเซลล์ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ มีขนาดและรูปร่างไม่แน่นอน กลุ่มเซลล์แบบนี้เกิดขึ้นโดยเยื่อหุ้มเซลล์แต่ละเซลล์มาเชื่อมต่อกัน เช่น *Anacystis* หรือเกิดจากเซลล์ที่เคลื่อนที่ได้ หรือเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในกลุ่มเซลล์ที่เคลื่อนที่ได้ ทำการแบ่งได้เซลล์จำนวนมากอยู่ภายในเยื่อหุ้มเดียวกัน เรียกกระยะนี้ว่า ระยะพาล์มลลา (palmella stage) ซึ่งเป็นระยะหนึ่งในวัฏจักรชีวิต เพื่อการสืบพันธุ์

- กลุ่มเซลล์เดนดรอยด์ (dendroid colony) เป็นกลุ่มเซลล์ที่มีกิ่งก้านมาเชื่อมโยงกัน กิ่งก้านนี้เกิดจากเยื่อเมือกของแต่ละเซลล์ที่ผลิตออกมา เช่น *Chrysodendron*

- กลุ่มเซลล์ไรโซพอดียัล (rhizopodial colony) เป็นกลุ่มเซลล์ที่รวมกันโดยมีไรโซพอดียม (rhizopodium) ซึ่งเป็นส่วนของสายไซโตพลาสซึมเชื่อมโยงกันระหว่างเซลล์ เช่น *Chrysidiastrium*

2.1.2.3 แบบเส้นสาย (filamentous form หรือ filament) เป็นการเรียงตัวของเซลล์แบบเซลล์ต่อเซลล์ได้เป็นเส้นสาย เมื่อมีการแบ่งเซลล์จะแบ่งตามขวางของแนวนอน ทำให้เส้นสายนั้นยืดยาวออก มี 2 แบบ ได้แก่

- เส้นสายไม่แตกแขนง (unbranched filament) เช่น *Spirogyra*
- เส้นสายแตกแขนง (branched filament) มี 2 ลักษณะ คือ แขนงแท้ (true branch) เป็นการแตกแขนงที่พบในสาหร่ายทั่วไป เช่น *Cladophora* และ แขนงเทียม (false branch) พบเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น ตระกูล *Scytonemataceae* เช่น *Scytonema*

2.1.2.4 แบบหลอดหรือท่อ (siphonous form) เป็นเซลล์ที่มีหลายนิวเคลียส ซึ่งเป็นหลอดหรือเป็นท่อที่ไม่มีผนังกัน นอกจากในระยะสืบพันธุ์จึงจะมีผนังมาปิดกันเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เช่น *Bryopsis*

2.1.2.5 แบบพาราไคมา (parenchymatous form) ทัลลัสมีลักษณะเป็นหลอดหรือเป็นแผ่น ประกอบด้วยเซลล์พาราไคมา ที่สามารถทำการแบ่งเซลล์ได้หลายทิศทาง เช่น *Ulva*

2.1.3 แหล่งที่อยู่ (habitat)

2.1.3.1 ในน้ำ (aquatic habitat) มีทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม สาหร่ายส่วนใหญ่มีแหล่งที่อยู่ในน้ำ และจะอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ

- แบบแพลงก์ตอน (planktonic form) ส่วนมากเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก มีทั้งเซลล์เดี่ยว กลุ่มเซลล์ และเป็นเส้นสาย อาจเคลื่อนไหวได้ด้วยหนวด หรือไม่เคลื่อนไหว
- แบบยึดเกาะ (benthic form หรือ attached form) แบ่งเป็นพวกย่อยได้ดังนี้
 - อีพิไลติก (epilithic) ขึ้นบนหิน
 - อีพิเพลิก (epipellic) ขึ้นบนโคลนหรือทราย
 - อีพิไฟติก (epiphytic) ขึ้นบนพืช
 - อีพิโซอิก (epizoic) ขึ้นบนสัตว์

2.1.3.2 ในอากาศ (airborne algae) ส่วนมากเป็นสาหร่ายเซลล์เดี่ยวหรือกลุ่มเซลล์ที่แห้งและถูกลมพัดปลิวมาในอากาศ

2.1.3.3 ในที่ขึ้น (subaerial algae) เช่น เปลือกไม้ ใบไม้ที่ขึ้น ๆ หรือตามทางเดิน ส่วนมากเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กบางชนิด

2.1.3.4 ในดิน (soil algae) ขึ้นอยู่ได้ทั้งที่ผิวดิน และในดิน มีหลายชนิดด้วยกัน มีทั้งสาหร่ายสีเขียว สีเขียวแกมน้ำเงิน สีแดง ไดอะตอม และยูกลีโนยด์

2.2 สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเกาะตัว (fouling)

สาหร่ายที่เจริญในสภาพแวดล้อมบนพื้นดินหรือในที่ขึ้น จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่น terrestrial, aerial หรือ subaerial algae จึงเป็นการยากที่จะจำแนกได้อย่างถูกต้องแน่นอน อย่างไรก็ตามมักจำแนกตามแหล่งที่อยู่เป็นหลัก ได้มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าสปอร์ เซลล์ หรือเซลล์ย่อย (fragment) ของเซลล์ที่เป็นเส้นสายของสาหร่ายในอากาศ พบว่ามักเป็นสาหร่ายชนิดเดียวกันกับที่พบได้ทั่วไปบนพื้นผิวดินต่าง ๆ โดยที่สาหร่ายจะถูกพัดพาไปตกลงบนพื้นผิวแล้วพัฒนาและเจริญได้ถ้ามีสภาพที่เหมาะสม สาหร่ายพวกนี้มักจะทนทานต่อความแห้งแล้ง เมื่อมีความชื้นน้อยก็เจริญน้อยหรืออยู่สภาพที่เป็นสปอร์ แต่เมื่อมีความชื้นสูงก็สามารถเจริญได้ดี

Brown และคณะ (1964) ได้ทำการศึกษารวบรวมและจำแนกชนิดของสาหร่ายที่พบในอากาศ (airborne algae) ที่ระดับความสูง 1,100 เมตรเหนือพื้นดิน บริเวณตอนกลางของรัฐเท็กซัส และทำการเพาะเลี้ยงบนอาหาร Bold Basal Medium พบว่าสามารถมีชีวิตรอดได้โดยการสร้างกลุ่มเซลล์บนพื้นผิว แสดงในตารางที่ 1

Chua และคณะ (1972) ได้ทำการแยกสาหร่ายจากผนังคอนกรีต อิฐ ท่อ และพื้นผิวที่ทาสีในสิงคโปร์ พบว่ามีสาหร่ายจำนวนทั้งสิ้น 18 ชนิด จำแนกเป็นสาหร่ายสีเขียว 4 ชนิด โดยที่ *Protococcus* sp. เป็นชนิดที่พบได้บ่อยมากที่สุด และพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งสิ้น 14 ชนิด โดยที่ *Chroococcus* sp. พบได้บ่อยที่สุด สาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นสายพวก *Trentepohlia* สามารถพบได้ทั่วไปบนพื้นผิวที่เป็นคอนกรีต ขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก *Lyngbya*, *Spirulina* และ *Tolypothrix* พบได้เฉพาะบนพื้นผิวคอนกรีตเท่านั้น

Schlichting (1975) ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิวดินต่าง ๆ ที่ได้รับความชื้นในไอร์แลนด์ โดยทำการจำแนกได้ 50 ชนิด พบว่าเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 26 ชนิด

สาหร่ายสีเขียว 17 ชนิด ไดอะตอม 5 ชนิด และสาหร่ายสีน้ำตาลทอง 2 ชนิด สาหร่ายชนิดที่พบบ่อยที่สุดคือ *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Pleurococcus*, *Gloeocapsa* และ *Nostoc* สาหร่ายที่เจริญอยู่บนก้อนหิน (lithophilous algae) พบว่าเป็นสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอมซึ่งพบได้มากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ๆ สามารถเจริญได้ดีบนหินปูนหรือเปลือกหินแกรนิต แต่ไม่สามารถเจริญได้บนเปลือกของหินทรายที่มีอายุใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับ *Chlorella* ที่พบว่าสามารถเจริญได้บนก้อนอิฐ แต่ *Chroococcus* และ *Schizothrix* เจริญได้เฉพาะบนปูนที่ใช้ในการก่ออิฐเท่านั้น ส่วนผนังที่ได้รับความชื้นจากร่มเงาจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้หลากหลายกว่าผนังบริเวณที่แห้งแล้งซึ่งต้องเผชิญกับแสงแดดโดยตรง

Wee และ Lee (1980) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายที่พบบนพื้นผิวดึกและอาคารในประเทศสิงคโปร์ โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างสาหร่ายทั้งสิ้น 103 ตัวอย่าง พบสาหร่ายทั้งหมด 14 ชนิด สามารถทำการจำแนกตามความถี่ของสาหร่ายที่พบในแต่ละสกุล แสดงในตารางที่ 2 พบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 8 ชนิด สาหร่ายสีเขียว 5 ชนิด และไดอะตอม 1 ชนิด คือ *Navicula* สาหร่ายสีเขียวที่เป็นเส้นสายคือ *Trentepohlia odorata* พบมากถึง 2 ใน 3 ของตัวอย่างสาหร่ายทั้งหมดที่เก็บมา ขณะที่ *Anacystis montana* และ *A. thermale* เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบบ่อยกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างทั้งหมด

Grant (1982) ทำการรวบรวมผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสาหร่ายที่เป็นสาเหตุของปัญหาการเกิดการเกาะตัวบนพื้นผิวดึก ซึ่งเป็นกลุ่มสาหร่ายที่พบได้ทั่วไป ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียว และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ดังแสดงในตารางที่ 3

ในเขตอบอุ่นสาหร่ายสีเขียว *Pleurococcus* (*Protococcus viridis*) พบได้ทั่วไปบนงานสี (Skinner, 1972a) นอกจากสาหร่ายสีเขียวแล้ว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไดอะตอมก็ยังปรากฏให้เห็น (Schlichting, 1975) *Trentepohlia* พบได้มากในเขตอบอุ่นที่มีสภาพเป็นหุบเขาชื้น เช่น ไอร์แลนด์ บริเวณที่มีทะเลสาบและในคอร์นวอลล์ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางตัวยังพบได้อย่างแพร่หลายในเขตร้อนชื้น ชนิดที่พบเห็นได้ทั่วไปคือ *Oscillatoria* และ *Scytonema* โดยการปรากฏของ *Scytonema* สามารถสังเกตที่จุดดำดำคือมีสีน้ำตาลดำถึงสีดำ ซึ่งอาจจะทำให้เข้าใจผิดคิดว่าเป็นการเจริญของรา (Skinner, 1972a and b)

ตารางที่ 1 สาหร่ายที่พบในอากาศ เลี้ยงในอาหาร Bold Basal Medium

class	สกุล
Chlorophyceae	<i>Borodinella, Bracteacoccus, Chlamydomonas, Chlorella</i> <i>Chlorococcum, Chlorosarcina, Chlorosarcinopsis, Chlorospaeropsis</i> <i>Coelastrum, Cosmarium, Cylandrocystis, Cylandrocystis, Dictyochloris</i> <i>Friedmannia, Hormidium, Hormotilopsis, Nannochloris, Neochloris</i> <i>Oocystis, Ourococcus, Palmella, Palmellococcus, Planktosphaeria</i> <i>Pleurastrum, Protococcus-like, Psuedoulvella-like, Radiosiphaera</i> <i>Roya, Scenedesmus, Spongiochloris, Spongiococcum, Stichococcus</i> <i>Tetracystis, Tetraspora, Trebouxia, Ulothrix, Westella</i>
Cyanophyceae	<i>Anabaena, Anacystis, Arthrospira, Chroococcus-like, Fremyella</i> <i>Gloeocapsa, Lyngbya, Merismopedia, Microcoleus, Myxosarcina</i> <i>Nostoc, Oscillatoria, Phormidium, Schizothrix, Synechococcus</i> <i>Scytonema, Tolypothrix</i>
Chrysophyceae	<i>Botrydiopsis, Hantschia, Heterococcus, Melosira-like, Monocila,</i> <i>Navicula, Tribonema</i>

ที่มา : Brown, 1964

ตารางที่ 2 ความถี่ที่พบของสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิวน้ำในสิงคโปร์
จำนวน 103 ตัวอย่าง

สาหร่าย	%
<i>Trentepohlia odorata</i>	66
<i>Anacystis montana</i>	57
<i>Anacystis thermale</i>	54
<i>Chlorococcum</i> sp.	53
<i>Scytonema hofmanii</i>	34
<i>Calothrix parietina</i>	19
<i>Schizothrix calicola</i>	12
<i>Schizothrix friesii</i>	9
<i>Oscillatoria lutea</i>	6
<i>Schizothrix rubella</i>	6
<i>Chlorella</i> sp.	6
<i>Hormidium</i> sp.	1
<i>Navicula</i> sp.	1

ที่มา : Wee และ Lee, 1980

ตารางที่ 3 แสดงชนิดของสาหร่ายที่เกาะตัวบนพื้นผิววัตถุ

class	ชนิดของสาหร่ายที่พบ
Chlorophyceae	<i>Chlorella</i> , <i>Chlorococcum</i> , <i>Pleurococcus</i> , <i>Stichococcus</i> , <i>Trebouxia</i> , <i>Trentepohlia</i>
Cyanophyceae	<i>Aphanothece</i> , <i>Calothrix</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Scytonema</i>
Xanthophyceae	<i>Heterococcus</i> , <i>Chlorobotrys</i>
Chrysophyceae	<i>Botrydiopsis</i> , <i>Heterothrix</i>
Bacillariophyceae	<i>Navicula</i> และสาหร่ายในสกุลอื่น ๆ 4 สกุล
Rhodophyceae	<i>Porphyridium</i>

ที่มา : Grant, 1982

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมตัวอย่างสาหร่ายที่พบบนพื้นผิวต่าง ๆ ของนักวิจัยพบว่า สาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิวเป็นสาหร่ายที่มีโครงสร้างและรูปร่างหลากหลาย โดยที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียวเป็นกลุ่มของสาหร่ายที่พบมากและบ่อย ส่วนสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอมและสาหร่ายอื่น ๆ พบได้เพียงเล็กน้อย สาหร่ายในกลุ่มที่สำคัญได้แก่

2.2.1 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นกลุ่มที่สามารถกระจายตัวได้ในช่วงกว้างในสภาพที่อยู่อาศัยทุกชนิด มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นเป็นอย่างมาก (Fogg, 1969) สาหร่ายพวกนี้มีความสัมพันธ์เชิงนิเวศน์โดยถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถบุกเบิกได้มากกว่าสาหร่ายในกลุ่มอื่น ๆ มีหลายชนิดที่เป็น endolithic form คือ เจริญเติบโตอยู่บนก้อนหิน หรือเจริญเติบโตโดยแทงเข้าไปในเนื้อหินได้ โดยเฉพาะหินที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากสาหร่ายพวกนี้สามารถสร้างกรดออกมาย่อยสลายแคลเซียมได้ เมื่อมีการเจริญบนพื้นผิวของก้อนหินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีผลทำให้เกิดการสึกกร่อนเป็นรูพรุนที่เห็นได้อย่างชัดเจน (Fritsch, 1971) ความสามารถในการสร้างกรดของสาหร่ายมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการสร้างกลุ่มเซลล์บนสิ่งก่อสร้างและการพัฒนาจากกลุ่มเซลล์สาหร่ายในเบื้องต้นไปเป็นรา และพืชชั้นสูงอื่น ๆ ต่อไป

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีหลายชนิดที่อยู่ร่วมกับราเป็นไลเคนส์ต่าง ๆ (Ahmadjian, 1967) สาหร่ายพวกนี้กระจายตัวได้อย่างกว้างขวางในบรรยากาศ (Brown et al., 1964) บางพวกยังสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น *Gloeocapsa*, *Nostoc* และ *Scytonema* (Stewart, 1966; Postgate, 1972) ความสามารถนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สาหร่ายสามารถเจริญได้บนพื้นผิวที่ขึ้นแม้ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน และการเจริญเติบโตของสาหร่ายเหล่านี้จะช่วยส่งเสริมการเจริญและพัฒนาของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในขั้นต่อไป โดยเฉพาะราที่อยู่ในไลเคนส์และลิเวอร์เวิร์ตบางชนิดที่อยู่ร่วมกับสาหร่ายโดยมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพา (symbiosis) (Stewart, 1966; Postgate, 1972)

2.2.2 สาหร่ายสีเขียว สามารถเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ขึ้นแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ในเขตอบอุ่นซึ่งมีปริมาณความชื้นและแสงอาทิตย์ปานกลาง พบว่ามีการเจริญของสาหร่ายสีเขียวได้เด่นและมากกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งแตกต่างกับในเขตร้อนมักพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเด่นกว่าสาหร่ายสีเขียว ยกเว้นสาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia* พบได้มากที่สุด ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น รูปร่างลักษณะเป็นเส้นสาย หรือเป็นกลุ่มเซลล์นุ่ม

(cushion) สีส้มเหลือง แม้ว่าจะมี 2-3 ชนิดที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแข็งที่ละเอียด (find crust) เซลล์มีความทนทานสูงต่อช่วงเวลาแห้งแล้งอันยาวนาน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนใหญ่สาหร่ายชนิดนี้จะปรากฏให้เห็นเป็นสีส้มบนพื้นผิว สีที่ปรากฏให้เห็นคือรงควัตถุพวก haematochrome แต่ถ้าสาหร่ายชนิดนี้เจริญในบริเวณที่ร่มจะปรากฏให้เห็นเป็นสีเขียว (Fritsch, 1971) สาหร่าย *Trentepohlia* มีหลายสายพันธุ์สามารถอยู่ร่วมกับราในรูปไลเคนส์ (lichen phycobiont) ซึ่งพบได้ทั่วไปเป็นจำนวนมาก (Ahmadjian, 1967) เช่นเดียวกับ *Chlorococcus* เป็นสาหร่ายที่พบได้บ่อยมาก การที่สาหร่ายเหล่านี้สามารถเจริญได้ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสร้างและพัฒนาการเกิดของไลเคนส์บนพื้นผิว ซึ่งสามารถที่จะเจริญได้อย่างคงทนและทนทานลงไปยังใต้พื้นผิวได้

สาหร่ายสีเขียวยังพบได้ทั่วไปเป็นจำนวนมากในที่เปียกชื้นทุกชนิด โดยพบปกคลุมอยู่ด้านบนของหิน ผนังกำแพง รั้วและตามเปลือกไม้ เนื่องจากเซลล์ของสาหร่ายสามารถดูดซับไอน้ำจากบรรยากาศได้ จึงทนทานต่อการอยู่ในที่แห้งแล้งเป็นเวลานานโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลง เช่น สาหร่ายสีเขียวพวก *Pleurococcus* (Grant, 1982)

2.2.3 สาหร่ายกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ สาหร่ายสีเหลืองแกมเขียว สาหร่ายสีน้ำตาลทอง ไดอะตอม และสาหร่ายสีแดง ชนิดของสาหร่ายกลุ่มที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสาเหตุของการก่อตัวบนพื้นผิว *Heterococcus* เป็นสาหร่ายที่พบจากตัวอย่างก้อนหินที่แตกหัก (Gruia, 1970 อ้างใน Grant, 1982) โดยเป็นสาหร่ายที่อยู่ร่วมกับรา (Ahmadjian, 1967) สาหร่ายสีน้ำตาลทองพวก *Botrydiopsis* และ *Heterothrix* แยกจากพื้นผิวของหินในไอร์แลนด์ (Schlichting, 1975) มีการแพร่กระจายของไดอะตอมบนพื้นผิวของประติมากรรมหินทราย (Fritsch, 1971) และมีอีก 5 ชนิดที่พบบนประติมากรรมหินและภาพพิมพ์ไม้ (painted wood) (Schlichting, 1975) มีการพบ *Navicula* บนก้อนหิน (Grant, 1982) และบนพื้นผิวดึกในสิงคโปร์ (Wee and Lee, 1980) และพบจากตัวอย่างอากาศ (Brown et al., 1964) Fritsch (1971) ได้บันทึกไว้ว่า *Porphyridium cruentum* เป็นสาหร่ายสีแดงชนิดที่พบได้ทั่วไป

2.3 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิว

2.3.1 แสง ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ถ้าได้รับน้อยเกินไปสาหร่ายไม่สามารถเจริญได้ และความเข้มแสงที่สูงมากก็สามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายบางชนิดได้เช่นกัน

2.3.2 ความชื้น สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีความชื้นสูง Richardson (1973b) กล่าวว่า สาหร่ายสามารถเจริญได้เกือบทุกพื้นผิว ถ้าพื้นผิวนั้นได้รับความชื้นอย่างเพียงพอและต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wee และ Lee (1980) พบว่า การเจริญของสาหร่ายเริ่มจากจุดที่มีความชื้นสูงโดยสามารถจะแผ่ขยายไปตามการไหลของน้ำ ต้นไม้ที่แผ่กิ่งก้านสาขาออกมาจะทำให้บริเวณนั้นมีความชื้นสูง หรือตามชั้นที่เกิดการรั่วไหลของน้ำบริเวณท่อ รอยต่อต่าง ๆ จะช่วยส่งเสริมการเจริญของสาหร่าย

2.3.3 ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณน้อย (trace element) ได้จากต้นไม้ที่ให้ร่มเงาบริเวณนั้น สิ่งขับถ่ายของนกและสัตว์ต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณที่ตั้งอยู่ใกล้พื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณมาก มีการพัดพาเป็นฝุ่น รวมทั้งสารประกอบต่าง ๆ ของตัวพื้นผิววัตถุและที่ใช้ทาพื้นผิว เช่น สี

2.3.4 ความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว พื้นผิวที่เป็นซีเมนต์หรือซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ พื้นผิวตึกอาคารที่เพิ่งสร้างเสร็จใหม่จะมีค่าความเป็นเบสสูงเกินกว่าที่สาหร่ายจะเจริญได้ (Grant, 1982) อย่างไรก็ตามในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ พื้นผิวที่ได้รับความเปียกชื้นจะมีค่าความเป็นเบสลดลงไปจนอยู่ในสภาพเป็นกลาง ทำให้สาหร่ายสามารถเจริญขึ้นได้

2.3.5 พื้นผิว (substrate) สาหร่ายสามารถเกาะตัวบนพื้นผิวที่หยาบหรือขรุขระได้ดีกว่าพื้นผิวเรียบ (Whiteley, 1973) อย่างไรก็ตามสาหร่ายสามารถเจริญได้บนพื้นผิวเรียบที่ทาสารเคลือบผิว (coating) ซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายได้เช่นกัน (Gillatt, 1990)

2.4 ผลของการเจริญเติบโตของสาหร่ายต่อการเสื่อมสภาพของพื้นผิววัตถุ

ในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้น สาหร่ายสามารถสร้างกลุ่มเซลล์บนพื้นผิวที่แตกต่างกัน พื้นผิวที่มีการสะสมความชื้นเป็นระยะเวลายาวนาน จะช่วยส่งเสริมให้สาหร่ายเจริญได้ ดังเช่น

2.4.1 วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง (construction materials)

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ หิน อิฐ คอนกรีต ซีเมนต์ใยแก้ว (asbestos-cement) และ วัสดุอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันที่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง พื้นผิวของวัสดุที่ใช้มีการสะสมความชื้น เช่น คอนกรีตที่สร้างเสร็จใหม่ ๆ และซีเมนต์ใยแก้วจะมีความคงทนต่อการเจริญของสิ่งมีชีวิตเนื่องจาก วัสดุเหล่านี้มีความเป็นเบสสูง (pH=12) อย่างไรก็ตามความเป็นเบสของพื้นผิวจะลดลงได้เนื่องจาก พื้นผิวต้องสัมผัสกับน้ำและเมื่อเกิดกระบวนการ carbonation ในอากาศโดยเปลี่ยนจากไฮดรอกไซด์ เป็นคาร์บอเนต (pH ต่ำกว่า 9) สาหร่ายสามารถเจริญได้ ดังนั้นรายละเอียดในการออกแบบตึก อาคารจะมีผลต่อทิศทางการไหลของน้ำบนพื้นผิว จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา ทั้งนี้ต้องออกแบบให้ระยะเก็บกักน้ำบนพื้นผิวสั้นที่สุด ความเปียกชื้นเนื่องจากฝนตกจะมีความรุนแรงกว่า ความชื้นจากตัววัสดุเอง โดยเฉพาะในช่วงก่อนที่สาหร่ายจะเข้าทำลายพื้นผิวโดยการสร้างกลุ่ม เซลล์ (Bravery and Jones, 1977)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก Chroococcaceae โดยเฉพาะ *Gloeocapsa* จะเข้าทำลายหิน ปูน (limestone) ได้ และพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Gloeocapsa rupestris* เป็นสาเหตุของการ เสื่อมสลายของทางระบายน้ำคอนกรีตใน Brittany (Grant, 1982) มีการศึกษาในห้องปฏิบัติการถึง การเข้าทำลายลานบินคอนกรีตที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการละลาย (dissolution) ของแคลเซียม คาร์บอเนต โดยส่วนของคาร์บอเนตที่ถูกทำลายจนละลาย จะก่อตัวเป็นโคลน เมื่อลานบินเปียก จึงเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุแก่เครื่องบิน

2.4.2 พื้นผิวที่ทาสี (painted surfaces)

การอยู่ร่วมกันของราและสาหร่าย เป็นสาเหตุหลักของความเสียหายและการเสื่อมสภาพ ของพื้นผิวที่ทาสีในเขตร้อน (Skinner, 1972a) ในเขตอบอุ่นปัญหาเหล่านี้จะพบได้เฉพาะในพื้นที่ และมักจะเป็นพื้นที่เล็ก ๆ การเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฟิล์มสีจะมีความแตกต่างไปตาม สภาพแวดล้อมรวมทั้งคุณสมบัติของสีและพื้นผิว โดยทั่วไปพื้นผิวที่เรียบจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าพื้นผิวที่หยาบ นอกจากนี้ความสามารถของน้ำในการที่จะซึมผ่านแผ่นฟิล์มสีที่ทาลงบนรูพรุน

ของพื้นผิววัตถุ ความหยวนกระด้างของพื้นผิวและส่วนประกอบบางส่วนของฟิล์มสีล้วนมีอิทธิพลต่อการยึดเกาะและการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสิ้น (Whiteley, 1973)

การเจริญของสาหร่ายที่ปรากฏให้เห็นเป็นแผ่นจะขัดขวางการไหลของน้ำ และชะลอการแห้งตัวของพื้นผิวซึ่งชักนำให้เกิดการทำลายวัตถุ (Bravery, 1981) มากไปกว่านั้นการเจริญของสาหร่ายที่อาจมองเห็นด้วยตาจะลดความสวยงามของตัวอาคารได้ เนื่องจากผงฝุ่นที่เกาะตามผนังอาคารชักนำให้มีสีดำคล้ำ พื้นผิวสกปรก ปัญหาการเกาะตัวของสาหร่ายพบได้ทั่วไปบนตึกหรืออาคารในเขตร้อน เนื่องจากความชื้นที่มากเกินไป ประกอบกับการแพร่กระจายไปตามการไหลของน้ำทำให้สาหร่ายเหล่านี้สามารถปรากฏบนตัวตึกหรืออาคารในสิงคโปร์ที่ทาสีใหม่หรือเพิ่งสร้างเสร็จได้ 12 เดือน แม้ว่าสาหร่ายจะไม่ใช่สาเหตุของการทำลายพื้นผิวอย่างแรงนัก แต่การเจริญของสาหร่ายทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการตกแต่ง หรือซ่อมบำรุงพื้นผิวและต้องทาสีก่อนเวลาอันควรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ Drisko และ Crilly (1974) รายงานถึงการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของวัสดุและแรงงานเนื่องจากการทำความสะอาดพื้นผิวและการทาสีใหม่ ในประเทศออสเตรเลียได้จ่ายเงินถึงปีละ 15-30 ล้านดอลลาร์

2.4.3 พื้นผิวของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอนุสาวรีย์และงานศิลปะ (monuments and works of art)

การเจริญของสาหร่ายบนตึกอาคารโบราณที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์จะพบได้ทั่วไปในเขตร้อน ซึ่งการเจริญไม่เพียงมีผลต่อความสวยงามของโบราณสถานยังมีผลต่อการเสื่อมสภาพ จะเห็นได้จากการศึกษาของ Singhasiri และคณะ (1994) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติและลักษณะของหินทรายซึ่งเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของปราสาทหินพิมายที่สร้างจากอิฐและหินทรายในศตวรรษที่ 10 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายและไลเคนส์ รวมทั้งศึกษาวิธีการและสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายและไลเคนส์ที่เจริญบนหินทรายเพื่อคงสภาพให้ยาวนานต่อไป Sripleng (1994) ได้ทำการศึกษาคความหลากหลายของพืชต่าง ๆ ที่เจริญบนอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและศรีเทพซึ่งเป็นโบราณสถานที่สร้างจากอิฐ พบพืชหลายชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว ไลเคนส์ มอส ลิเวอร์เวิร์ด รวมทั้งพืชชั้นสูงที่มีท่อลำเลียง ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดการทำลายเชิงกล แล้วยังเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีของอิฐได้ด้วย สาหร่ายสีเขียวพวก *Pleurococcus* (*Protococcus*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิด เช่น *Gloeocapsa* พบว่ามีการสร้างกลุ่มเซลล์ทั่วไปบน

อนุสาวรีย์ที่สร้างจากหินทรายตั้งแต่ศตวรรษที่ 10 ในกัมพูชา (Fusey and Hyvert, 1966) สาหร่ายสามารถสร้างกลุ่มเซลล์ได้อย่างกว้างขวางบนผนังตึกและอนุสาวรีย์จำนวนมากใน Venice (Paleni and Curri, 1972 อ้างใน Grant, 1982) ได้มีรายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายสีเขียวกับจุลินทรีย์ที่ออกซิไดส์สารประกอบกำมะถัน (sulphur oxidising bacterium) *Thiobacillus thioparus* ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของหินปูนโดยการผลิตกรดซัลฟิวริกจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในก้อนหิน (Grant, 1982) และพบว่าการสร้างกลุ่มเซลล์ของ *Thiobacillus thioparus* จะทำลายหินอ่อน (greek marble) อย่างรุนแรง แต่ทำลายหินปูน (limestone) ได้เพียงเล็กน้อย (Paleni and Curri, 1972 อ้างใน Grant, 1982)

การเจริญของสาหร่ายไม่เพียงแต่พื้นผิววัตถุด้านนอกเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นด้านในพื้นผิวได้อีกด้วย ความเสียหายของภาพวาด *maladie verte* ภายในถ้ำใน Lascaux มีสาเหตุมาจากการเจริญของสาหร่ายสีเขียวที่อยู่ในสกุล *Palmellocooccus* (Lefevre and Laporte, 1969) Krumbein และ Lange (1978) ได้รายงานถึงความเสียหายของภาพวาดบนหินปูน หินที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารและประติมากรรมหินปูน ที่เกิดจากสาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียและร่ายภายในโบสถ์ทางตอนเหนือของเยอรมันตะวันตก การศึกษาในครั้งนี้พบมีสาเหตุมาจากสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและไดอะตอม มีรายงานว่าสาหร่ายสีเขียวพวก *Stichococcus bacillaris* เจริญได้ดีบนพื้นและเสาของบ้านโรมันที่ยังเหลืออยู่ของเมือง Luni ในทางตอนเหนือของอิตาลี (Favali et al., 1978)

การเกิดปัญหาการเกาะตัวของสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ บนหินจารึกเหนือหลุมฝังศพ (headstones) และอนุสาวรีย์ต่าง ๆ ก่อให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจอย่างมากแก่ Commonwealth War Graves Commission ของประเทศอังกฤษ ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบในการบำรุงรักษานินจารึกเหนือหลุมฝังศพ และอนุสาวรีย์ที่มีขนาดใหญ่ใน 140 ประเทศทั่วโลก (Anon, 1979)

2.4.4 ผ้า (fabrics)

สาหร่ายสามารถเจริญบนผ้าที่ใช้ทำเตนท์ ผ้าใบบังแดด เป็นปัญหาโดยเฉพาะพื้นที่ในเขตร้อน แม้แต่ในเขตอบอุ่น สาหร่ายที่มีสีเขียวสามารถเกิดขึ้นบนผืนผ้าที่เปียกชื้นเป็นเวลานานได้ การศึกษาผ้าพวกผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายผสม (cotton-polyester) ที่ต้องเผชิญสภาพแวดล้อมแบบเขตร้อนในควีนส์แลนด์ ออสเตรเลีย พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Scytonema stuposum* สามารถสร้างกลุ่มเซลล์บนผืนผ้าได้ ทำให้มีสีดำเข้มเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

(Upsher, 1971) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอีกชนิดหนึ่งคือ *Tolypothrix byssoidea* สามารถเจริญได้ดีบนผ้าใบเต็นท์ใน New Guinea (Upsher, 1971)

2.4.5 พลาสติก (plastics)

สาหร่ายสามารถเข้าทำลายได้แม้แต่พลาสติกบางชนิด Favali และคณะ (1978) พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Stichococcus bacillaris* สร้างกลุ่มเซลล์บนเรซินพลาสติกที่นำไปใช้ในการป้องกันซากทางโบราณคดี ต่อมาการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าสาหร่ายสามารถมีชีวิตรอดอยู่บนชั้นของ epoxy หรือ acryl-siliconic resin ที่ไม่มีการเติมสารอาหารเป็นเวลานานถึง 3 สัปดาห์ การเจริญของสาหร่ายบนส่วนของ PVC รั้ว รางน้ำ พบได้โดยทั่วไปในบางสถานที่

2.4.6 โลหะ (metals)

Schlichting (1975) พบว่าสาหร่ายสามารถสร้างกลุ่มเซลล์บนพื้นผิววัตถุที่เป็นโลหะได้โดยสามารถแยกสาหร่ายสีเขียวได้จากรางรถไฟในไอร์แลนด์

2.5 การกำจัดและการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิว

ได้มีการพัฒนาวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุต่าง ๆ เพื่อรักษาคุณค่าและการใช้ประโยชน์ให้นานเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อยืดอายุของสารเคลือบผิว สี รวมทั้งพื้นผิว วิธีที่ใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือ

2.5.1 วิธีการทางกายภาพ (physical method) เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการป้องกันกำจัดสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิวภายนอก โดยหลีกเลี่ยงปัจจัยต่าง ๆ ที่ชักนำให้พื้นผิวสะสมความชื้นสูงๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น การซ่อมแซมท่อ รอยต่อที่ชำรุดหรือรั่วซึม หรืออย่าให้มีเงาไม้หรือต้นไม้ขนาดใหญ่ยื่นเข้ามาปกคลุมใกล้ตัวอาคาร Bravery (1981) ได้ทำการรวบรวมปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตกับวัสดุการก่อสร้างและเสนอข้อควรคำนึงถึงเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา โดยจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษา ตามลำดับ ความต้องการพื้นฐานในการเจริญของสาหร่าย คือ ธาตุอาหาร ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ แสง ความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม และน้ำ ปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้เป็นข้อจำกัดต่อการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิว โดยปกติจะมีเพียงกรณีที่คอนกรีตที่ยังใหม่อยู่หรือซีเมนต์โยแก้วเท่านั้นที่ ความเป็นกรด-เบสจะเป็นปัจจัยจำกัด น้ำและความชื้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีการเสนอเพื่อการควบคุม แนนอนว่าพื้น

ผิวหนังนอกจากจะต้องเผชิญกับน้ำฝนโดยเฉพาะตึกอาคารสูง ๆ ซึ่งเป็นปัญหาที่เพิ่มมากขึ้น จึงควรมีการออกแบบที่เหมาะสมเพื่อให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและเพียงพอ พื้นผิวที่มีเศษสิ่งสกปรก ผงดิน ผุ่นต่าง ๆ สะสมอยู่ให้ทำความสะอาดออกให้หมดโดยใช้สารชะล้าง หรือใช้แปรงขัดลวดขัด ใช้แรงดันน้ำฉีดลงไปเพื่อเคลื่อนย้ายและกำจัดสิ่งสกปรกและจุลินทรีย์ออกไป หลังจากนั้นควรใช้ผลิตภัณฑ์พวกสารเคลือบผิว เช่น สีที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายทาบลงบนพื้นผิว

2.5.2 วิธีการทางเคมี (chemical method) การใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศต่าง ๆ โดยการผสมลงในผลิตภัณฑ์สี หรือใช้ในรูปแบบสารชะล้าง (toxic washes) เพื่อทำความสะอาดพื้นผิว

2.5.2.1 วัสดุที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง (constructional materials)

วิธีการที่ใช้ในการป้องกันโดยการใส่สารพิษ (toxicant) ลงไปในวัสดุที่มีซีเมนต์เป็นส่วนผสม (Barti and Velecky, 1971 ; Keen, 1976) อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของวิธีนี้ในทางปฏิบัติ

แนวทางที่ใช้กันทั่วไปในการควบคุมทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารชะล้าง (toxic wash) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำความสะอาด เป็นวิธีการที่ง่ายสุดที่ใช้ในการระงับการเจริญ Bravery (1981) ได้รวบรวมรายชื่อของสารประกอบที่ใช้ในการควบคุมการเจริญของสิ่งมีชีวิตบนพื้นผิวภายนอก โดยมีสารประกอบอินทรีย์จำนวน 8 ชนิด และสารประกอบอินทรีย์ 26 ชนิด แม้ว่าจะยังมีหลายตัวที่ไม่เคยนำมาใช้ในทางปฏิบัติ แต่สารเหล่านี้ประกาศใช้โดย UK Pesticides Safety Precaution Scheme ซึ่งปลอดภัยในการนำไปใช้ สำหรับรายชื่อของสารชะล้างที่ใช้กับผนังปูนมีอยู่ในรายงานของ Bravery (1980)

The Commonwealth War Graves Commission และ The Building Research Establishment มีประสบการณ์ในการศึกษาในพื้นที่ภายนอกหรือที่โล่งแจ้ง โดยมีการใช้ borates, สารประกอบ quaternary ammonium (QACs) และสารผสมของ QAC/tri-n-butyltin oxide ซึ่งเป็นสารที่ให้ผลดีที่สุด (Richardson, 1973b) อย่างไรก็ตามสารชะล้างที่ใช้ทาภายนอก จะให้ผลแตกต่างกันไปตามสูตรของสาร รูปทรงของพื้นผิววัตถุ ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมและระยะกักเก็บของสารประกอบและระดับการ

เผชิญกับฝนที่ตก การใช้สารเหล่านี้กับพื้นผิวที่มีรูพรุนจะสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ 3-4 ปี ขณะที่พื้นผิวคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงและเผชิญกับสภาพเปิดโล่งอาจจะป้องกันได้เพียง 1 ปี หรือน้อยกว่านี้ (Bravery, 1981)

การใช้สารชะล้างโดยใช้แปรงทาหรือพ่นลงบนพื้นผิว สามารถนำมาใช้กับพื้นผิวในแนวราบได้ด้วย เช่น ทางเท้า โดยทำการชุบ ชัด หรือใช้น้ำที่มีแรงดันสูงฉีดพ่น จะช่วยในการเคลื่อนย้ายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของพื้นผิวที่ได้รับผลกระทบและความรุนแรงของปัญหา (Whiteley and Bravery, 1982)

2.5.2.2 พื้นผิวที่ทาสี (painted surfaces)

การใช้สารพิษผสมลงในสี เป็นวิธีที่ใช้ควบคุมการเกิดปัญหาการสร้างกลุ่มเซลล์ขึ้นใหม่ได้ดี ตัวอย่างเช่น ในเขตร้อนจำเป็นต้องใช้สารต้านสาหร่าย (algicide) บนพื้นผิวเพื่อยับยั้งการสร้างกลุ่มเซลล์ โดยจะต้องไม่สูญเสียไปอย่างรวดเร็วโดยการชะล้าง สารพิษที่ใช้จะต้องเข้ากันได้ดีกับส่วนผสมของสี รวมทั้งคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น คุณสมบัติที่ไม่ระเหย (non-volatile) ความคงทนต่อการเสื่อมสภาพโดยแสงและอุณหภูมิ และเป็นที่ยอมรับต่อความปลอดภัย สุขภาพและสิ่งแวดล้อม

สารประกอบที่ใช้ได้ผล เช่น paint fungicides ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดเชื้อราพบว่าไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการต่อต้านสาหร่าย (Skinner, 1972a and b) phenyl mercury acetate, pentachlorophenol และ paratoluene sulphonamide เป็นสารต้านสาหร่ายในรูปแบบของ limewash ที่ใช้ไม่ได้ผลในอินเดีย (Aslam and Singh, 1971) อย่างไรก็ตามที่ 2% CuSO_4 ใช้ได้ผลดีในการระงับการเจริญเติบโตของสาหร่าย และไม่มี Cu ที่สูญเสียไปจากส่วนที่ปกคลุมตลอดระยะเวลา 1 ปีที่วางไว้ Drisko และ Crilly (1974) ได้ทำการคัดเลือกสารที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย 14 ชนิด และผงสี 2 ชนิด ในห้องปฏิบัติการและในพื้นที่ที่ Guam พบว่ามีเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่มีความเหมาะสม โดยที่ 0.1% ของ tributyltin oxide (TnTBTO) และที่ 1% ของ phenylmercuric oleate ให้ผลดีใน polyvinyl acetate emulsion paint หลังจากที่ทำการศึกษาทดลองโดยนำมาวางทิ้งไว้นานถึง 26 เดือน ขณะที่ผงสี barium metaborate ใน acrylic emulsion paint สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดี ในทางกลับกันที่ 1% ของ TnTBTO ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันสี PVA และ acrylic emulsion paint จากการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งทำการทดสอบในภาคสนามถึง 18 เดือนในสิงคโปร์ (Ngiam and Yong, 1975) และพบว่าสารที่มีคุณสมบัติ

ในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงที่มีชื่อว่า SISIR-D สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ถึงความเข้มข้น 1%

คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ (Allsopp and Seal, 1986; Gillatt, 1990)

1. ความเป็นพิษ (toxicity) ต่อเชื้อรา สาหร่ายหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ สารพิษบางตัวมีคุณสมบัติครอบคลุมในช่วงกว้าง สามารถใช้ในการต้านทานทั้งเชื้อราและแบคทีเรียได้ ขณะที่บางตัวมีความจำเพาะต่อเชื้อราหรือแบคทีเรียเท่านั้น

2. ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ พืชและสัตว์ มีหลายประเทศได้นำกฎหมายที่ใช้ในการควบคุมสารพิษมาใช้ เช่น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (EPA) ในอเมริกา ในปัจจุบันนี้ได้มีผลิตภัณฑ์ที่ออกสู่ตลาดโดยมีปริมาณของสารพิษที่ทำให้หนูตายไปครึ่งหนึ่งของประชากรหนูที่ใช้ทดลอง เมื่อได้รับสารพิษโดยทางปาก (LD_{50}) ในปริมาณ 10,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักร่างกาย ทำให้ได้รับการยอมรับทางด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการกำหนดให้มีการเปลี่ยนสารเคมีที่มีส่วนผสมของตะกั่วหรือสารประกอบพวกปรอท ไปใช้สารที่มีความเป็นพิษน้อยลง

3. สามารถผสมเข้ากับตัวผลิตภัณฑ์ และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีหรือทำให้มีคุณสมบัติของสารเปลี่ยนแปลงไปในภายหลัง

4. มีความคงตัวทั้งในรูปสารเคมีเข้มข้นและรูปสารละลายเจือจาง สภาพแวดล้อมไม่ควรมีผลต่อการขัดขวางการทำงานของสารพิษตลอดระยะเวลาการใช้งาน ความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอของสารพิษบางตัวจะมีระยะเวลาของการใช้งานที่ให้ผลดี สารประกอบพวก organotin จะระเหยได้อย่างช้า ๆ ในช่วงระยะเวลามากกว่า 6-12 ปี สารประกอบพวกฟีนอล และสารประกอบพวกปรอท จะให้ผลเหมือน ๆ กัน แต่มีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้ในระบบปิด โดยที่สภาพความเป็นพิษของไอระเหยต้องไม่สัมผัสกับสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมาย

5. มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ในความเข้มข้นต่ำ โดยสารพิษควรมีผลต่อสิ่งมีชีวิตเป้าหมายได้หลาย ๆ ทาง เช่น ปฏิกริยาออกซิเดชัน การสลายตัวด้วยน้ำ การสูญเสียสภาพ การยับยั้งกระบวนการเมตาบอลิซึม

6. คุณสมบัติในการละลายน้ำต่ำ มีความสำคัญมากต่อผลิตภัณฑ์ที่มีตัวทำละลายผสมอยู่ เช่น สีทาภายนอก โดยเฉพาะเมื่อใช้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง ความสามารถในการละลายน้ำต่ำนี้ จะช่วยในการลดอัตราชะล้างของสารพิษบนพื้นผิวขณะที่ต้องสัมผัสกับน้ำโดยตรง ซึ่งจะช่วยให้สารพิษนั้นมีประสิทธิภาพและคงสภาพได้ยาวนานขึ้น

7. ความคงทนต่อแสงและรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญโดยเฉพาะสีที่ใช้ทาภายนอกจะต้องคงสภาพให้มีประสิทธิภาพยาวนาน แต่แผ่นฟิล์มสีที่มีสารเคมีบางตัวอยู่อาจแตกตัวได้โดยรังสีเหนือม่วงและทำให้สูญเสียประสิทธิภาพได้

8. มีความคงทนต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสของพื้นผิว ค่าความเป็นกรด-เบสของสี

9. สามารถเข้าได้กับสีชนิดต่าง ๆ ทั้งที่มีส่วนผสมที่ละลายน้ำและละลายในตัวทำละลาย และสามารถคงตัวได้ทั้งในสภาวะสีและเป็นฟิล์มสี

10. ไม่มีผลต่อคุณสมบัติการแห้งตัวภายหลังการทาสี

Allsopp และ Seal (1986) ได้รวบรวมรายชื่อชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัด จุลินทรีย์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงรายชื่อของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดจุลินทรีย์

กลุ่มของสารเคมี	ชนิดของสาร
1. Metal containing compounds	copper and zinc naphthenate and quinolinolate copper and zinc dimethyl dithiocarbamate tributyltin oxide, fluoride, chloride and naphthenate, phenylmercuric acetate, 10,10-oxybisphenoxarsine organoborons
2. Phenolics	phenol and homologues เช่น orthophenyl phenol, cresol and thymol, trichlorophenol, pentachlorophenol para-chloro-meta cresol, dichlorodihydroxy-diphenyl-methane parahydroxybenzoic acid and its salts, Pentachlorophenyl laurate Para-nitro-phenol, salicylanilide
3. Quaternary ammonium compounds	dialkyl dimethyl ammonium chloride alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride
4. Nitrogen containing compounds	1,3,5- hexahydrotriazine and derivatives dodecylamine salicylate, oxazolidines, Imidazolines
5. Sulphur containing compounds	Bis(2 hydroxy-5-chloro-phenyl) sulphide hexachlorodimethyl sulphide
6. Nitrogen and sulphur containing compounds	tetramethylthiurum disulphide n-(trichloromethyl) thiophthalimide (Folpel) and fluorine derivative 8-hydroxyquinoline sulphate, isothiazoline range
7. Inorganic compounds	metallic salts of copper, zinc, copper/chrome, potassium and mercury

2.6 การประเมินความสามารถของสารต้านสาหร่าย (algicidal biocide) ในการป้องกัน กำจัดสาหร่าย

มีการนำสารเคมีมาใช้อย่างกว้างขวางกับพื้นผิวตึกหรืออาคารที่มีการเจริญของสาหร่าย และพบว่ามีสารเคมีในรูปสารประกอบหลายตัวที่มีศักยภาพในการนำไปใช้โดยใส่รวมลงในสี (Springle, 1979) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาร แนวทางการทดสอบในภาคสนามเป็นวิธีการที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดในการประเมินผล อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ต้องใช้เวลาในการทดสอบและไม่สามารถใช้ในการทำการคัดเลือกสารเบื้องต้น หรือ ประเมินสารต้านสาหร่ายที่นำมาทดสอบเป็นจำนวนมากได้ ดังนั้นวิธีการทดสอบทางห้องปฏิบัติการที่เชื่อถือได้ และมีความรวดเร็วในการทดสอบจึงเป็นสิ่งจำเป็น สามารถนำผลที่ได้ไปคาดการณ์ ในทางปฏิบัติซึ่งต้องนำไปใช้จริง ๆ Grant และ Bravery (1981a) ได้ทำการรวบรวมและประเมินผล ของเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ในการทดสอบสาร และได้ทำการพัฒนาและประเมินผลของเทคนิค ใหม่ ๆ (Grant and Bravery, 1981b)

2.6.1 การประเมินสารชะล้าง (biocidal washes) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวเพื่อทดสอบสารประกอบต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสาร ต้านสาหร่าย วิธีการนี้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นเวลานานหลายปีแล้ว Morton (1979) ได้นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อคัดเลือกสารชะล้างในอาหารเหลว Drisko และ Crilly (1974) ได้ทำ การพัฒนาการทดสอบที่ใช้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในวุ้นเรียกว่า เทคนิคการเขี่ยเชื้อ (streaked plate) เพื่อประเมินความอยู่รอดของสาหร่ายบนอาหารวุ้นที่ใส่สารพิษลงไป โดยสามารถตรวจสอบได้ ด้วยตา ส่วนวิธีการ algal lawn มีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืช (herbicide assay) และใช้เป็นตัวชี้ความเป็นพิษโดยดูจากบริเวณของการยับยั้งการเจริญรอบ ๆ แผ่นทดสอบ (disc) ซึ่งใช้เป็นตัวตรวจสอบ

2.6.2 Vermiculite-bed technique

ห้องปฏิบัติการ Princes Risborough ได้ทำการพัฒนาเทคนิคนี้เพื่อใช้ในการประเมินสาร ชะล้างบนตัววัสดุของตึกหรืออาคาร เช่น natural stone, mortar และ asbestos-cement ภายใต้ สภาพที่ต้องเผชิญกับสภาพธรรมชาติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิว สารต้านสาหร่าย และสาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ ภายหลังที่มีการปรับสภาพพื้นผิวให้เหมาะสมโดยนำมาผ่าน ความชื้นและนำไปวางบน vermiculite ที่ขึ้นในภาชนะแบบปิดซึ่งใช้ในการเพาะเลี้ยง นำสาหร่ายที่

อยู่ในรูปเซลล์แขวนลอย (เลี้ยงใน inorganic nutrient solution) มาเพาะลงบนพื้นผิวที่เตรียมไว้ ทำการบ่มเชื้อโดยให้แสงจนกระทั่งมีการสร้างกลุ่มเซลล์เกิดขึ้น จากนั้นทำการประเมินสารที่ใช้ในการทดสอบ โดยใช้แปรงทาสีหรือพ่นลงไปในพื้นผิวอย่างระมัดระวัง ทำการวัดผลการทดสอบโดยใช้การให้ค่าคะแนน (subjective rating system) โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุม หลังจากนั้นทำการชะล้างแผ่นทดสอบ นำลงเลี้ยงในอาหารเหลวเลี้ยงสาหร่ายเพื่อทดสอบความอยู่รอดของสาหร่าย และทำการเพาะสาหร่ายในรูปเซลล์แขวนลอยลงไปใหม่อีกครั้งเพื่อยืนยันผลของสารต้านสาหร่าย ให้ความถูกต้อง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการประเมินสารชะล้าง รวมทั้งประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของสารประกอบ quaternary ammonium ที่มีต่อหินชนิดต่าง ๆ กัน (Grant and Bravery, 1981b)

2.7 การประเมินสีป้องกันสาหร่าย

แนวทางการประเมินฟิล์มสีป้องกันสาหร่าย (algicide paint film) คล้ายกับการทดสอบสารชะล้าง การประเมินเริ่มแรกใช้วิธีการประเมินในหลอดทดลอง ขณะที่เทคนิคการประเมินในขั้นที่ 2 พยายามที่จะนำมาทดสอบโดยรวมสี พื้นผิว และสาหร่ายเข้าด้วยกัน ภายใต้สภาพที่เลียนแบบให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง การประเมินในขั้นที่ 3 เป็นการกระทำในภาคสนาม

Drisko และ Crilly (1974) ได้พัฒนาวิธีการเขียนชื่อในการคัดเลือกสีต้านสาหร่าย แต่ประสบความสำเร็จน้อยมาก Skinner (1972a and b) ได้นำวิธีการนี้มาใช้ทำการทดสอบสีโดยวางไว้ในกล่องควบคุมความชื้น (humidity cabinet) พบว่าสามารถใช้ได้ดี ขณะที่ Yong และคณะ (1972) ทำการทดสอบสารเคลือบผิว (surface coating) โดยนำมาทดสอบกับตัวอย่างแผ่นคอนกรีตขนาดเล็กที่ใช้เป็นพื้นผิวคอนกรีตของตึกอาคารในสิงคโปร์ไปบ่มที่ความชื้นสูง ๆ

Ngiam และคณะ (1973) ใช้เทคนิคการคัดเลือกสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านสาหร่าย โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายลงในอาหารเหลวที่เติมสารทดสอบลงไป นำสารที่คัดเลือกได้ไปใช้ในการทดสอบขั้นต่อไปโดยการเติมสารต้านสาหร่ายลงในสีที่ใช้ทาตึกหรืออาคาร เพื่อประเมินความสามารถของสารต้านสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพในการป้องกัน PVA และ acrylic emulsion paint รวมทั้งทำการประเมินความทนทานของสารต้านสาหร่ายต่อการชะล้าง (leaching) โดยเก็บรวบรวมสารละลายทดสอบที่ออกมาจากสี แนวทางในการทดสอบนี้คล้ายกับการทดสอบในอาหารเหลวและในฟิล์มสีของ Rusch และคณะ (1977)

Acima Chemical Industrial Ltd. ได้ทำการทดสอบสีด้านสาหร่ายโดยทาสีลงบนกระดาษกรอง แล้วนำไปผ่านการชะล้างในน้ำที่ไหลผ่านตลอด วางทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วตัดเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 หรือ 45 มิลลิเมตร นำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ แล้วนำขึ้นทดสอบมาวางบนอาหารวุ้นที่ spread ด้วยสาหร่าย *Ulotrichaceae* และ *Chlorococcum* sp. ในรูปเซลล์แขวนลอยที่เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปบ่มโดยให้แสง 12 ชั่วโมง/วัน ที่ความเข้ม 50 cd/m² อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ทำการตรวจวัดผลการเกิดบริเวณใสรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกระงับการเจริญ (inhibition zone) ผังแสดงวิธีการทดสอบในภาพที่ 5

ส่วนวิธีมาตรฐานเพื่อการทดสอบความคงทนของฟิล์มสี สารเคลือบและวัสดุที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญของสาหร่ายของ American Society for Testing and Material (ASTM,1994) ทำโดยการเตรียมแผ่นทดสอบที่เป็นกระดาษกรอง นำไปทาสีทดสอบลงบนกระดาษกรอง วางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง กรณีที่ทำการชะล้างแผ่นทดสอบ ให้ชะล้างแผ่นทดสอบด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วางทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วจึงตัดแผ่นทดสอบออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 28x28 มิลลิเมตร แล้วนำสาหร่าย *Chlorella* sp., *Ulothrix gigas* และ *Scenedesmus quadricauda* ที่อยู่ในรูปเซลล์แขวนลอยที่ผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียว เป็นสาหร่ายทดสอบ โดยการเคลือบลงบนแผ่นทดสอบ นำแผ่นทดสอบที่ได้ไปวางบนอาหารวุ้นเลี้ยงสาหร่าย ให้แสง 14 ชั่วโมง/วัน ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85% ขึ้นไป ทำการตรวจสอบผลการเจริญของสาหร่ายด้วยตา ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ผังแสดงวิธีการทดสอบในภาพที่ 6

จากปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนฟิล์มสีที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงในเขตร้อนมากกว่าเขตอบอุ่นและเขตหนาว ดังนั้น Institute of Standards and Industrial Research (SISIR) ในประเทศสิงคโปร์ได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาวิธีการทดสอบสีทาภายนอกที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่าย จนกระทั่งสามารถกำหนดวิธีมาตรฐานเพื่อการทดสอบผลิตภัณฑ์สีทาภายนอกอาคาร (SS345) ออกมาใช้ โดยนำสีทดสอบมาทาบริเวณด้านในของฝาล่างของจานเลี้ยงเชื้อพลาสติก หลังจากนั้นนำไปผ่านแสง UV แล้วนำสาหร่ายทดสอบ *Trentepohlia odorata* ที่เลี้ยงไว้ในอาหารเหลว เพาะเชื้อลงไปในจานเลี้ยงเชื้อที่ทาสีไว้ นำไปบ่มให้แสง 12 ชั่วโมง/วัน ที่ความเข้มแสง 1,000-1,400 ลักซ์ วางทิ้งไว้เป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วทำการตรวจสอบความหนาแน่นของสาหร่ายด้วยตา ผังแสดงวิธีการทดสอบในภาพที่ 7

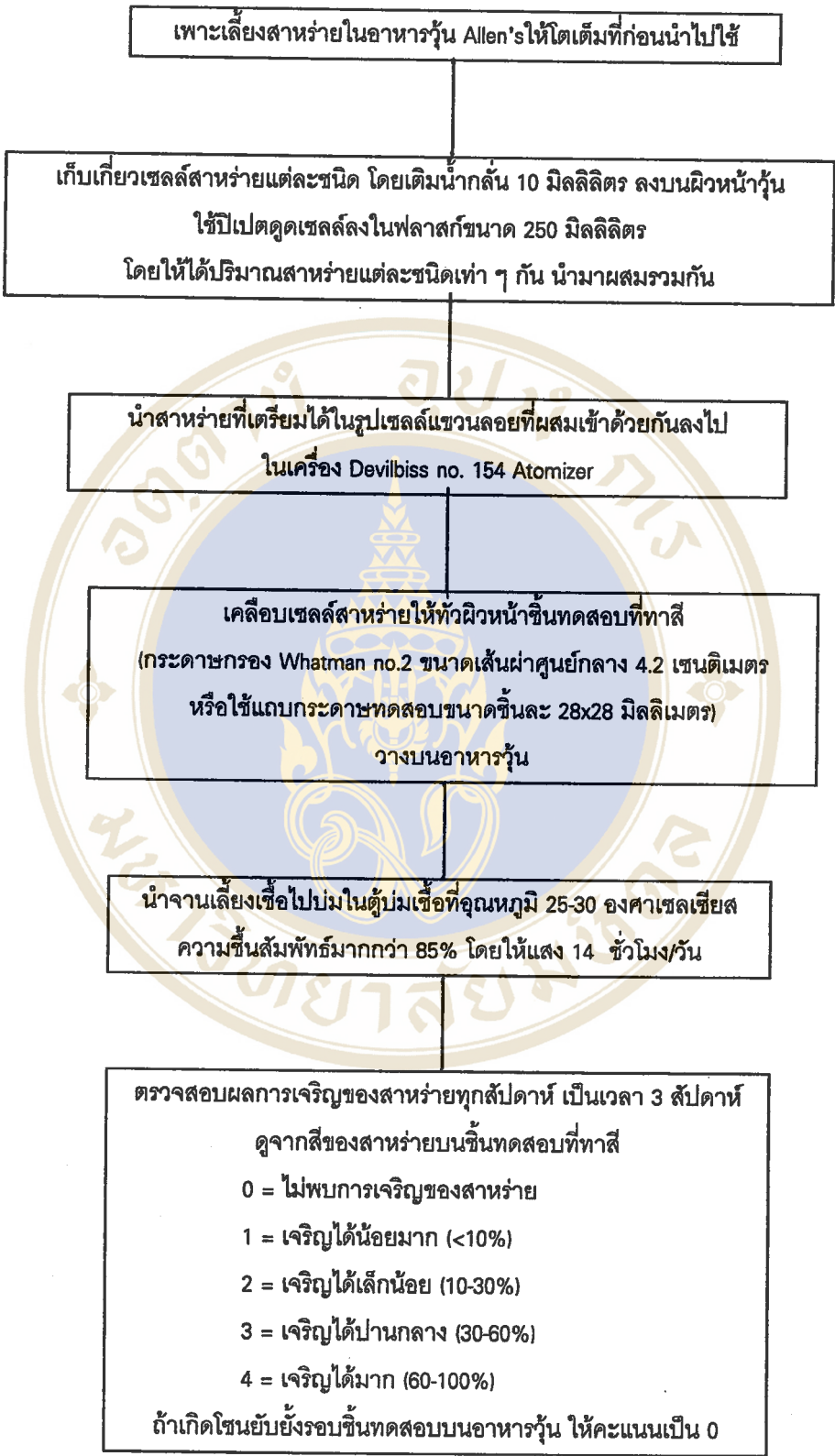
มีการพัฒนาในการใช้สารเคมีสำหรับการควบคุมการเสื่อมสภาพทางชีววิทยาเพื่อปรับปรุงในส่วนที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และพัฒนาสารเคมีให้มีประสิทธิภาพในระยะยาว โดยมีระบบการควบคุมในการปล่อยสารพิษออกมาอย่างช้า ๆ และเหมาะสม Chew (1990) รายงานถึงผู้ผลิตสีในสิงคโปร์ (Singapore Paint Manufacturers' Association) ได้พัฒนารูปแบบของสี Hi-Tech Paint ซึ่งเป็นที่ยอมรับถึงความจำเป็นที่จะต้องใช้สารต้านสาหร่ายโดยผสมลงในสี และสามารถใช้ในการป้องกันได้มากกว่า 5 ปี โดยมีการคำนวณต้นทุนของสีที่ผสมสารต้านสาหร่ายพบว่า ค่าใช้จ่ายสูงกว่าสีมาตรฐานที่ใช้โดยทั่วไปถึง 53-63% แต่เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับความจำเป็นในการทาสีใหม่ จะคิดต้นทุนรวมต่อตารางเมตรต่อปีสูงกว่าสีมาตรฐานเพียง 19-23% จะเห็นได้ว่าการใช้สารต้านสาหร่ายผสมลงในสีจึงเป็นอีกวิธีที่ดีอีกวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนฟิล์มสี

จะเห็นได้ว่าวิธีการทดสอบสีต้านสาหร่ายที่นำมาทดสอบในแต่ละวิธีนั้นมีทั้งแตกต่างและคล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะสาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบพบว่าโดยส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่น ดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับวิธีการทดสอบที่ใช้นั้นเป็นแนวทางมาตรฐานที่จะใช้ในการทดสอบผลิตภัณฑ์สี ซึ่งแล้วแต่การเลือกใช้ของผู้ผลิตในการทดสอบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ดังนั้นวิธีการทดสอบจึงถูกนำมาใช้ในที่ที่แตกต่างกันออกไป โดยที่มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการเดียวกัน





ภาพที่ 5 ผังแสดงการทดสอบสีต้านสาหร่ายโดยวิธี agar diffusion test ของ Acima Chemical Industries Ltd.



ภาพที่ 6 แสดงวิธีทดสอบความคงทนของฟิล์มสี สารเคลือบและวัสดุที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญของสาหร่ายของ ASTM D5589-94

ตารางที่ 5 แสดงความแตกต่างของสาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ

วิธีทดสอบ	สาหร่าย
Acima Chemical Industries Ltd.	Ulotrichaceae และ <i>Chlorococcum</i> sp.
ASTM D5589-94	<i>Chlorella</i> sp. , <i>Ulothrix gigas</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i>
International Biodeterioration Research Groups (IBRG)	<i>Gloeocapsa alpicola</i> , <i>Nostoc commune</i> , <i>Pleurococcus</i> sp. <i>Stichococcus bacillaris</i> , <i>Trentepohlia aurea</i>
Thor Chemicals (UK) Ltd.	<i>Chlorella</i> , <i>Pleurococcus</i> , <i>Stichococcus</i> , <i>Trentepohlia</i> <i>Trebouxia</i>
Singapore Standard 345:1990	<i>Trentepohlia odorata</i>

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) โดยทำการศึกษาสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายเพื่อทำการจำแนกชนิดและความถี่ของสาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิวโครงสร้าง ผังอาคาร บ้านเรือน และโบราณสถาน เพื่อทำการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายพื้นเมืองของประเทศไทย ซึ่งจะนำมาใช้ในการทดสอบความทนทานของสี รวมทั้งทำการศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและยับยั้งการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิว โดยแบ่งหัวข้อศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสายพันธุ์สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นผิว

ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายที่พบได้ทั่วไปบนวัสดุโครงสร้าง ผังบ้านเรือน และโบราณสถานต่าง ๆ โดยทำการสุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษา 3 ส่วนคือ

1. พื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดนครปฐม เนื่องจากมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจสูง และมีการก่อสร้างตึกอาคารสูงจำนวนมาก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากผังอาคารบ้านเรือน ตึกอาคารพาณิชย์ กำแพง รั้วบ้าน ทั้งที่ทาสีและไม่ทาสี

2. พื้นที่ในจังหวัดภาคใต้ ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น มีฝนตกชุกตลอดปี เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการเจริญของสาหร่าย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจากผังอาคารบ้านเรือน ตึกอาคารพาณิชย์ กำแพง รั้วบ้าน ทั้งที่ทาสีและไม่ทาสี ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต พังงา สุราษฎร์ธานี พัทลุง ตรัง และยะลา

3. พื้นที่ที่เป็นที่ตั้งของโบราณสถานและโบราณวัตถุ ได้แก่ วัดไผ่โรงวัว จังหวัดสุพรรณบุรี วัดพระศรีสรรเพชญ์ วัดพนัญเชิง วัดใหญ่ชัยมงคล อุทยานประวัติศาสตร์ พระราชวังบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา วัดเจ้าจันทร์ เมืองโบราณ จังหวัดสุโขทัย พระปรางสามยอด จังหวัดลพบุรี

โดยมีรายละเอียดของการเก็บตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 จำแนกตัวอย่างที่สุ่มเก็บจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งที่เก็บ	จำนวนตัวอย่าง
พื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดนครปฐม	49
พื้นที่ในจังหวัดภาคใต้	26
พื้นที่ที่มีโบราณสถานและโบราณวัตถุตั้งอยู่	25
รวม	100



ตารางที่ 7 จำแนกตัวอย่างสาหร่ายที่สุ่มเก็บตามจังหวัด

จังหวัด	จำนวน
กรุงเทพฯ	40
นครปฐม	9
สุพรรณบุรี	1
ลพบุรี	2
พระนครศรีอยุธยา	20
สุโขทัย	2
สุราษฎร์ธานี	3
ภูเก็ต	3
พังงา	6
พัทลุง	3
ยะลา	11
รวม	100

3.1.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายโดยใช้ spatula สะอาดขูดพื้นผิวที่มีสาหร่ายเจริญอยู่ เก็บใส่ถุงพลาสติก บันทึกวันที่เก็บตัวอย่าง สถานที่เก็บ ตำแหน่งของการเกิด

3.1.2 การแยกสาหร่ายให้บริสุทธิ์

นำตัวอย่างสาหร่ายมาตรวจส่องเพื่อจำแนกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (light microscope, Olympus BH-2) และทำสาหร่ายให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเชยลงบนอาหารวุ้นหลาย ๆ ครั้ง สำหรับสาหร่ายที่เก็บมาเป็นตัวอย่างแห้ง จะนำมากระตุ้นการเจริญเติบโต โดยนำสาหร่ายมาใส่ในขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาดความจุ 50 มิลลิลิตร เติมหาอาหารเหลว BG-11 (Stainer *et al.*, 1971) ซึ่งเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่าย ปริมาตร 25 มิลลิลิตร สูตรอาหารดังแสดงในตารางที่ 8 บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 28 ± 1 องศาเซลเซียส ภายใต้แสง (daylight type fluorescent light) ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ ภายใน 2-3 สัปดาห์ จะพบสาหร่ายขึ้นอย่างหนาแน่น ทำการเชยสาหร่ายที่เจริญในอาหารเหลวลงบนวุ้น บ่มที่อุณหภูมิห้องใต้แสงไฟ ทำซ้ำหลายๆ ครั้ง จนได้สาหร่ายสายพันธุ์เดียว (unialgal culture)

3.1.3 การจัดจำแนกสาหร่ายที่ตรวจพบทั้งหมด

นำตัวอย่างสาหร่ายที่ได้มาทำการจัดจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ตามหลักอนุกรมวิธานของ Desikachary (1959), Palmer (1962), Palmer และ Square (1977), Pantastico (1972), Prescott (1978), Whitford และ Schumacher (1969)

3.1.4 การเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่าย

นำสาหร่ายที่แยกได้เก็บไว้แยกจากกันบนอาหารเลี้ยงสาหร่าย BG-11 ในรูปอาหารวุ้น (agar slant) และให้เปลี่ยนใหม่ทันทีเมื่อเกิดการปนเปื้อน ทำการถ่ายเชื้อ (subculture) ทุกเดือน ควรเก็บสาหร่ายไว้ในตู้ควบคุมแสง อุณหภูมิและความชื้น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (BG-11)

สารเคมี	ปริมาณ
NaNO ₃	1.500 กรัม
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	0.040 กรัม
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.075 กรัม
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.036 กรัม
Citric acid	0.006 กรัม
Ferric ammonium citrate	0.006 กรัม
Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), disodium magnesium salt	0.020 กรัม
Na ₂ CO ₃	0.020 กรัม
Trace metal mix A5	1.000 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1.000 ลิตร
Trace metal mix A5:	
H ₃ BO ₃	2.860 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.810 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.222 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.390 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	0.0494 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) และวางไว้ให้เย็นแล้ว ปรับ pH ให้ได้ 7.4

3.2 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ทนทานต่อสารเคมีเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์มาตรฐาน

ในการทดลองนี้ใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างแพร่หลายเป็นตัวทดสอบ (American Water Works Association, 1950; Palmer and Maloney, 1955; Aslum and Singh, 1971) ดังนั้นการทดลองนี้จึงนำสายพันธุ์สาหร่ายที่แยกได้มาทดสอบกับ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ระดับความเข้มข้นสุดท้าย (final concentration) 1, 2 และ 3% โดยวิธี streaked plate ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลงในน้ำกลั่น เติมลงในอาหารวุ้น BG-11 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave, Tomy ss-245) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำมาเทลงจานเลี้ยงเชื้อพลาสติก (Sterilin, Bibby sterilin) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ที่ฆ่าเชื้อแล้ววางทิ้งไว้จนผิวหน้าของวุ้นแห้ง ทำการถ่ายเชื้อสาหร่ายที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์เต็มที่ (exponential phase) ลงบนผิววุ้นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ความเข้มข้นละ 2 $\times$ ทำการทดลอง วางทิ้งไว้ในตู้ควบคุมความชื้น (humidity cabinet) (ภาพที่ 9) ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ (daylight type fluorescent light) เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน บ่มไว้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ทำการบันทึกผลทุกสัปดาห์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของวงควัดของเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสองตา (stereoscope, Olympus SZ-PT) โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุม (อาหารวุ้นที่ไม่เติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) วัด growth rating ตามวิธีของ Drisko และ Crilly (1974)



ภาพที่ 8 แสดงการคัดเลือกสายพันธุ์สำหรับที่ทนทานต่อสารเคมี $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
โดยวิธี streaked plate



ภาพที่ 9 ตู้ควบคุมความชื้น (humidity cabinet)

3.3 การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

3.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีโดยวิธี algal lawn technique

3.3.1.1 การคัดเลือกสารเคมีที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบ

3.3.1.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

ทำการคัดเลือกสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ 3 กลุ่ม คือ

1. สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide โดยสารเคมีที่ใช้มีเพียง 1 ชนิด เท่านั้นที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ Polyphase AF-1

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบ 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0%

2. สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น formulated biocide ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการผสมสารเคมี หลายชนิดเข้าด้วยกัน ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ Metatin 55-43, Metatin 55-60, Metatin 55-61, Metatin 55-63, Metatin 55-64, Metatin 55-71, Cutinox 22-60, Cutinox 22-80

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบ 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0%

3. สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide เป็นสารเคมีที่มีทองแดงเป็น องค์ประกอบ สามารถละลายในน้ำได้ดี ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ Earthtec

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบ 0.01, 0.02 และ 0.05%

รายละเอียดของสารเคมีแสดงในภาคผนวก ก

3.3.1.1.2 การเตรียมสาหร่ายทดสอบ

นำสาหร่ายที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.2 ที่เลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 ซึ่งอยู่ในช่วงการ เจริญเติบโตเต็มที่มาใช้ในการทดลอง กรณีที่เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว (unicellular) นำสาหร่ายที่ได้ ไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ OD (optical density) ที่ความยาวคลื่น 900 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 3000, Milton Roy) ให้มีค่าประมาณ 0.3-0.5 ส่วนสาหร่ายที่มี ลักษณะเป็นเส้นสาย (filament) นำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่อง homogenizer (Polytron) แต่อย่าให้เซลล์แตก ตามวิธีของ Morton LHG, Lovell ML และ Mitchellaf (1984) นำสาหร่ายที่ได้ไป

วัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ที่ความยาวคลื่น 900 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.3-0.5 สำหรับยี่ห้อที่ได้แต่ละตัวนำมาผสมรวมกันในรูปเซลล์แขวนลอย ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

3.3.1.1.3 การเตรียมแผ่นทดสอบ

ทำการเตรียมแผ่นทดสอบในรูปฟิล์มสี โดยนำสีที่ผสมสารเคมีให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายในข้อ 3.3.1.1.1 มาเคลือบลงบนแผ่นกระดาษทดสอบ (filter paper, Whatman no. 40) ที่วางบนกระจกแผ่นเรียบ ใช้เครื่องทำฟิล์ม (Bird film applicator, Braive Instruments ขนาดช่อง 250 ไมโครเมตร) เคลือบสีโดยเร็วเพื่อให้ได้ฟิล์มเรียบหนา 250 ไมโครเมตรเท่ากันทุกแผ่น ผึ่งไว้ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากที่ได้แผ่นทดสอบแห้งดีแล้ว ทำการตัดแผ่นทดสอบขึ้นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร จำนวนความเข้มข้นละ 3 ชิ้นการทดลอง

3.3.1.1.4 การเตรียม algal lawn

นำอาหารวันเลี้ยงสาหร่ายที่นิ่งมาเชื้อแล้วมา 24 มิลลิลิตร วางไว้ให้เย็นอุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมน้ำสาหร่ายทดสอบที่เตรียมไว้ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็ว เทลงจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้อาหารวันแข็งตัว

3.3.1.1.5 การทดสอบ

วางขึ้นทดสอบไว้ตรงกลางอาหารเลี้ยงสาหร่ายบนจานเลี้ยงเชื้อที่เตรียม algal lawn นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มไว้ในตู้ควบคุมความชื้น เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน

3.3.1.1.6 การวัดผล

เมื่อครบกำหนดเวลาการบ่มเพาะเชื้อ ให้ตรวจดูขึ้นทดสอบโดยตรวจวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกยับยั้งการเจริญ (inhibition zone) ทำการคัดเลือกสารเคมีที่ให้ผลดีในการทดสอบ โดยพิจารณาจากการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่ความเข้มข้นต่ำสุดและเห็นได้ชัดเจน

3.3.1.2 การศึกษาวิธีการเตรียม algal lawn ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดสอบ

ทำการศึกษาศึกษาวิธีการเตรียม algal lawn 3 วิธี คือ

1. spread plate เทอาหารร่วน BG-11 ซึ่งนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ลงบนจานเลี้ยงเชื้อพลาสติกที่ฆ่าเชื้อแล้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้แห้งตัว ใช้ปิเปตดูดสาหร่ายทดสอบที่เตรียมไว้ในรูปเซลล์แขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารร่วน ทำการ spread โดยใช้แท่งแก้วจุ่มรูปตัว L ที่ฆ่าเชื้อด้วยอัลกอฮอล์ 95% ให้ทั่วผิวน้ำร่วน
2. pour plate นำอาหารร่วนเลี้ยงสาหร่ายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วมา 24 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น อุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมสาหร่ายทดสอบที่เตรียมไว้ลงไป 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็ว เทลงจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้อาหารร่วนแห้งตัว
3. bilayer plate เทอาหารร่วนเลี้ยงสาหร่ายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วลงในจานเลี้ยงเชื้อ 2 ครั้ง ซึ่งชั้นล่างจะเป็นชั้นที่มีอาหารเลี้ยงสาหร่ายอย่างเดียว โดยใช้อาหารประมาณ 15 มิลลิลิตรต่อ 1 จาน เมื่ออาหารแห้งตัวดีแล้ว จึงเทอาหารชั้นที่สองซึ่งเป็นอาหารผสมสาหร่ายทดสอบ โดยใช้อาหาร 10 มิลลิลิตร ผสมสาหร่ายทดสอบที่อยู่ในรูปเซลล์แขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน 1 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้อาหารแห้งตัว

วิธีทดสอบ

นำสารเคมีที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.3.1.1 ที่ให้ผลดีในการทดสอบ โดยเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่เห็นได้ชัดเจนมาใช้ในการทดลองนี้ 1 ชนิด มาทำการทดสอบกับสาหร่ายทดสอบที่เตรียมโดยวิธี algal lawn ที่แตกต่างกัน 3 วิธี โดยทำการเตรียมแผ่นทดสอบตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1.3 นำขึ้นทดสอบวางไว้ตรงกลางอาหารร่วนเลี้ยงสาหร่ายที่เตรียมในรูป algal lawn ทั้ง 3 วิธี ๆ ละ 30 ซ้ำการทดลอง นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มไว้ในตู้ควบคุมความชื้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ 16 ชั่วโมงต่อวัน ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ บ่มไว้เป็นเวลา 14 วัน (เนื่องจากสามารถเห็นการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบได้ชัดเจน และขนาดของโซนยับยั้งไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 จึงทำการวัดผลในสัปดาห์ที่ 2) เมื่อครบกำหนดเวลาการบ่มเพาะเชื้อ ให้ตรวจดูขึ้นทดสอบโดยทำการวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกระงับการเจริญแล้วนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน

ของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบของวิธีการเตรียม algal lawn แต่ละวิธี เพื่อทดสอบขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบของวิธีการ เตรียม algal lawn แต่ละวิธีว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะทดสอบว่าขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบของวิธีการเตรียม algal lawn วิธีใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มอื่นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) และทำการคัดเลือกวิธีการเตรียม algal lawn ที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีโดยวิธี liquid culture toxicity test

นำหลอดทดลองขนาด 150x18 มิลลิเมตร ที่มีอาหารเลี้ยงสาหร่าย BG-11 ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ปิดจุก นำไปนิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที วางทิ้งไว้ให้เย็น นำสารเคมีที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.1 ละลายในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วเติมลงไปหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร และนำสาหร่ายทดสอบที่ได้เติมลงในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเมื่อเติมสาหร่ายทดสอบแล้วดังนี้

single molecule biocide ที่ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 และ 1.0%

formulate biocide ที่ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 และ 1.0%

copper-based biocide ที่ความเข้มข้น 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 0.15 และ 0.2%

โดยแต่ละความเข้มข้นทำ 3 ข้ำการทดลอง นำไปบ่มไว้เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ ทำการบันทึกผลโดยดูความอยู่รอดของสาหร่ายจากการเปลี่ยนแปลงของสีรงควัตถุ

3.4 การศึกษาผลของสารเคมีบนแผ่นทดสอบที่เตรียมในลักษณะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

3.4.1 การศึกษาความสามารถในการละลายของสารเคมีต่อการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ

นำสารเคมีทั้ง 3 กลุ่มที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.1 มาเตรียมโดยนำมาละลายในน้ำ และละลายในสี เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติและความสามารถในการละลายของสารเคมีที่มีผลต่อการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบบน algal lawn

3.4.1.1 การเตรียมสารเคมีในรูปสารละลาย

นำสารเคมีมาละลายลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายในข้อ 3.3.1.1 ใช้ปิเปตดูดสารละลายแต่ละความเข้มข้นมา 0.1 มิลลิลิตร หยดลงบนชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่นำไปนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำการทดลอง ส่วนแผ่นทดสอบที่เป็นตัวควบคุมให้ใช้น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วแทนสารเคมี

3.4.1.2 การเตรียมสารเคมีในรูปแผ่นฟิล์มสี

ทำการเตรียมแผ่นทดสอบในรูปแผ่นฟิล์มสี โดยนำสีที่ผสมสารเคมีให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายในข้อ 3.3.1.1 มาเคลือบลงบนแผ่นทดสอบ ผึ่งไว้ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากแผ่นทดสอบแห้งดีแล้ว ทำการตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำการทดลอง

วิธีทดสอบ

นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้วางลงบนจานเลี้ยงเชื้อซึ่งมีการเตรียม algal lawn ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.2 แล้วนำไปบ่มไว้ในตู้ควบคุมความชื้น เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อครบกำหนดเวลาการบ่มเพาะเชื้อ ให้ตรวจดูชิ้นทดสอบโดยวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบชิ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกระงับ

3.4.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มสีในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มสีทดสอบในวันที่ 0, 1, 3, 7 และ 14 วัน ตามวิธีในข้อ 3.3.1.1.3 โดยใช้สารเคมีและความเข้มข้นที่ได้จากการคัดเลือกตามข้อ 3.3.1.1 นำชิ้นทดสอบที่ได้ทั้งหมดมาใช้ในการทดสอบต่อไป

3.4.3 การฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบ

นำชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่เคลือบเป็นฟิล์มสีแล้วตามข้อ 3.3.1.1.3 ไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที วางทิ้งไว้ให้เย็น

3.4.4 การชะล้างแผ่นทดสอบ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสีผสมสารเคมีที่เตรียมตามข้อ 3.3.1.1.3 มาทำการชะล้างแผ่นทดสอบ ทำโดยการแช่แผ่นทดสอบไว้ในภาชนะบรรจุน้ำซึ่งมีขนาดและรูปร่างพอเหมาะ เพื่อให้ น้ำท่วมทั่วผิวน้ำแผ่นทดสอบ ปลอยน้ำกรอง (Filopur,ซึ่งมีคุณภาพเทียบเท่า น้ำกลั่น) ให้ไหลลงสู่ก้น ภาชนะในอัตรา 6 เท่าของปริมาตรของภาชนะต่อ 24 ชั่วโมง ตามที่กำหนดใน ASTM D5589 ให้ นำเอาแผ่นทดสอบออก ทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ แล้วจึงตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

3.4.5 การทดสอบความคงทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบเป็นฟิล์มสีตามข้อ 3.3.1.1.3 แล้วนำไปผึ่งในเครื่องเร่งภาวะตามที่ กำหนดใน ASTM G53 เป็นเวลา 168 ชั่วโมง โดยมีภาวะวงจรคือ รับแสง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควบแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 168 ชั่วโมง ให้ นำแผ่นทดสอบมาวางทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงตัดแผ่นทดสอบออกเป็นรูป วงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบและการวัดผล ตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1.5 และ 3.3.1.1.6

3.5 การศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ ต่างประเทศต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

1. สาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมือง เป็นสาหร่ายที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.2

2. สาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ

- สาหร่ายจาก Acima Chemical Industries Ltd. ได้แก่ *Chlorella* sp., *Chlorella fusca*, *Scenedesmus subspicatus*, *Trentepohlia aurea*, *Stichococcus bacillaris*, *Gloeocapsa alpolica* และ *Nostoc commune*

- สาหร่ายจาก Thor Chemicals (UK) Ltd. ได้แก่ std4, std5, std7, std8 และ std9 เป็น สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว

การทดสอบความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ ทำโดยวิธี algal lawn technique โดยนำสาหร่ายทดสอบที่เตรียมตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1.2 มาทำ

การเตรียม algal lawn ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.2 นำมาทดสอบโดยวางขึ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่เคลือบสีที่ผสมสารเคมีในรูปฟิล์มสี (สารเคมีที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.1) ลงบนผิวหน้าอาหารวุ้น ทำ 3 ซ้ำการทดลองในแต่ละความเข้มข้น นำจานเลี้ยงเชื้อมาวางไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจสอบโดยวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกระงับการเจริญ โดยเปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองกับสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ

3.6 การศึกษาความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบ

สีที่นำมาทดสอบเป็นสีน้ำพลาสติกชนิดทาภายนอก (emulsion paint) ซึ่งเป็นสีที่ใช้ในทางการค้าจำนวน 13 ตัวอย่าง (แสดงในภาคผนวก ค) นำมาเคลือบบนแผ่นทดสอบให้เป็นฟิล์มสีตามวิธีการในข้อ 3.3.1.1.3 และทำการเตรียม algal lawn ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.2 หลังจากนั้นนำขึ้นทดสอบมาวางบนผิวหน้าวุ้น โดยสีแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบทำ 3 ซ้ำการทดลอง นำจานเลี้ยงเชื้อไปวางไว้ในตู้ควบคุมความชื้นเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการบันทึกผลโดยวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกระงับการเจริญ

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

4.1 การสำรวจสายพันธุ์สาหร่ายและการแพร่กระจายของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของพื้นผิว

จากการสำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างสาหร่ายที่พบบนพื้นผิวในพื้นที่ศึกษา จำนวน 100 ตัวอย่าง พบสาหร่ายทั้งสิ้น 3 class 26 สกุล 59 สายพันธุ์ (ตารางที่ 9) โดยจัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 17 สกุล ได้แก่ *Anabaena*, *Anacystis*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Fischerella*, *Gloeocapsa*, *Hapalosiphon*, *Lyngbya*, *Mastigocladus*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Plectonema*, *Rivularia*, *Scytonema*, *Stigonema*, *Tolypothrix* สาหร่ายสีเขียว 6 สกุล ได้แก่ *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Cosmarium*, *Haematococcus*, *Scenedesmus* และ ไดอะตอม 3 สกุล ได้แก่ *Gomphonema*, *Navicula* และ *Diatoma*

เช่นเดียวกันกับการศึกษาความหลากหลายของพืชต่าง ๆ ที่พบบนโบราณสถานที่เป็นอิฐในประเทศไทยของ Sripleng (1994) พบว่ามีพืชหลายชนิดที่เจริญเติบโตคือ สาหร่าย ไลเคนส์ มอส ลิเวอร์เวิร์ต และพืชชั้นสูงที่มีท่อลำเลียง โดยเฉพาะสาหร่ายที่พบมี 3 class 16 สกุล ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบ 10 สกุล ซึ่งพบได้มากกว่าสาหร่ายในกลุ่มอื่น ๆ สาหร่ายสีเขียวพบ 3 สกุล คือ *Chlorococcum*, *Protococcus* และ *Scenedesmus* แต่ไม่พบว่ามีสาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia* ในการศึกษาครั้งนี้เลย และพบไดอะตอมเพียง 3 สกุล ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับการศึกษาการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิวอาคารในสิงคโปร์ของ Wee และ Lee (1980) จำนวน 103 ตัวอย่าง พบสาหร่ายทั้งหมด 3 class 14 สายพันธุ์ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 8 สายพันธุ์ สาหร่ายสีเขียว 5 สายพันธุ์ และไดอะตอม 1 สายพันธุ์ โดยพบสาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia* มากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างจากผลการศึกษาที่ได้นี้ กล่าวคือ สาหร่ายที่พบมีอยู่ 3 class 26 สกุล และมีจำนวน 59 สายพันธุ์ (strain) แต่ไม่สามารถตรวจพบหรือแยกสาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia* ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เลย ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia* ส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ร่วมกับราในรูปไลเคนส์ หรือที่เรียกว่า phycobiont (Ahmadjian, 1967) ซึ่งจะเจริญได้ดีใน

พื้นที่ที่ปราศจากมลภาวะ สภาพอากาศค่อนข้างสะอาดและมีความชื้นสูง สามารถสังเกตได้จากสีส้มที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวคอนกรีตเมื่อสาหร่ายแห้งตาย เนื่องจากมีรงควัตถุ β -carotene อยู่ในเซลล์ (Wee and Lee, 1980) แต่จากการศึกษาสำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนพื้นผิวในครั้งนี้พบสาหร่ายที่เจริญในรูปไลเคนส์น้อยมาก จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถตรวจพบสาหร่ายชนิดนี้บนพื้นผิว

จากตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิวทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ตรวจพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 98 ตัวอย่าง ได้ทำการจำแนกสกุลสาหร่ายตามความถี่ที่พบ และในตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าสกุลที่มีการแพร่กระจายสูงสุด ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Phormidium* ซึ่งพบว่าการแพร่กระจายสูงถึงร้อยละ 76 โดยตรวจพบทั้งสิ้น 5 สายพันธุ์ รองลงมาได้แก่ *Nostoc* ตรวจพบร้อยละ 44 และสกุล *Scytonema*, *Hapalosiphon* และ *Chroococcus* พบร้อยละ 26, 23 และ 22 ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายในสกุล *Oscillatoria*, *Gloeocapsa*, *Calothrix* และ *Plectonema* พบว่าการแพร่กระจายประมาณร้อยละ 10 สำหรับสาหร่ายในสกุล *Anabaena*, *Tolypothrix*, *Stigonema*, *Fischerella*, *Mastigocladus*, *Anacystis*, *Rivularia* จะพบว่าการแพร่กระจายตัวร้อยละ 1-6

จากตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิวทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ตรวจพบสาหร่ายสีเขียว 65 ตัวอย่าง 6 สกุล โดยสกุลที่มีการแพร่กระจายสูงสุด ได้แก่ *Chlorococcum* มีอยู่ถึงร้อยละ 41 รองลงมา ได้แก่ *Chlorella* ร้อยละ 10 สกุลที่ตรวจพบว่าการแพร่กระจายอยู่น้อยมากคือ *Scenedesmus*, *Cosmarium*, *Haematococcus* ซึ่งมีเพียงร้อยละ 2, 1 และ 1 ตามลำดับ

สกุลของสาหร่ายที่พบน้อยเป็นพวกไดอะตอมที่ตรวจพบมีเพียง 3 สกุลจากจำนวนตัวอย่างที่รวบรวมมาทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ตรวจพบไดอะตอมเพียง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ *Gomphonema*, *Navicula* และ *Diatoma* ซึ่งพบเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น

ตารางที่ 9 ความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่ายจากตัวอย่างพื้นผิวที่เก็บ

class	สกุล	สายพันธุ์
Bacillariophyceae	<i>Diatoma</i>	1
	<i>Gomphonema</i>	1
	<i>Navicula</i>	1
Chlorophyceae	<i>Chlamydomonas</i>	3
	<i>Chlorella</i>	3
	<i>Chlorococcum</i>	2
	<i>Cosmarium</i>	1
	<i>Haematococcus</i>	1
	<i>Scenedesmus</i>	1
Cyanophyceae	<i>Anabaena</i>	2
	<i>Anacystis</i>	1
	<i>Calothrix</i>	4
	<i>Chroococcus</i>	1
	<i>Fischerella</i>	1
	<i>Gloeocapsa</i>	6
	<i>Hapalosiphon</i>	4
	<i>Lyngbya</i>	1
	<i>Mastigocladus</i>	1
	<i>Nodularia</i>	1
	<i>Oscillatoria</i>	6
	<i>Phormidium</i>	5
	<i>Plectonema</i>	2
	<i>Rivularia</i>	1
	<i>Scytonema</i>	4
	<i>Stigonema</i>	2
	<i>Tolypothrix</i>	3
รวม	26	59

ตารางที่ 10 ความถี่ที่พบของสาหร่ายที่เก็บรวบรวมจากพื้นผิวจำนวน 100 ตัวอย่าง

สกุล	%
<i>Phormidium</i>	76
<i>Nostoc</i>	44
<i>Chlorococcum</i>	41
<i>Scytonema</i>	26
<i>Hapalosiphon</i>	23
<i>Chlorella</i>	23
<i>Chroococcus</i>	22
<i>Oscillatoria</i>	13
<i>Gloeocapsa</i>	10
<i>Chlamydomonas</i>	10
<i>Calothrix</i>	9
<i>Plectonema</i>	9
<i>Anabaena</i>	6
<i>Tolypothrix</i>	3
<i>Stigonema</i>	2
<i>Fischerella</i>	2
<i>Scenedesmus</i>	2
<i>Mastigocladus</i>	1
<i>Anacystis</i>	1
<i>Rivularia</i>	1
<i>Cosmarium</i>	1
<i>Gomphonema</i>	1
<i>Haematococcus</i>	1
<i>Navicula</i>	1
<i>Diatoma</i>	1

4.2 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ทนทานต่อสารเคมีเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์มาตรฐานในการทดสอบ

ตารางที่ 11 แสดงความทนทานของสายพันธุ์สาหร่ายที่มีต่อระดับความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในช่วงเวลาต่าง ๆ จากผลการทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3% ของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ปรากฏว่าไม่พบการเจริญของสาหร่ายทุกสกุล แต่มีสภาพคงเดิมเหมือนเริ่มแรก ในสัปดาห์ที่ 2 เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคือ สาหร่ายที่นำมาทดสอบในบางสกุลเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคือ นอกจากจะไม่พบการเจริญแล้วยังพบว่าสาหร่ายมีสีเขียวซีดลง และในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 พบว่าสาหร่ายโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ และมีสีเหลืองซีด ซึ่งจะเห็นได้ว่า $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3% ส่วนใหญ่จะแสดงคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของสาหร่าย (algistatic) ที่นำมาทดสอบ แต่ไม่สามารถกำจัดและฆ่าสาหร่ายได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Aslum และ Singh (1971) พบว่าที่ 2% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จะให้ผลดีในการยับยั้งหรือสกัดกั้นไม่ให้มีการเจริญของสาหร่ายและพบว่าไม่มีการสูญเสีย Cu ไปจากสารเคลือบผิว (coating) ตลอดระยะเวลาที่วางทิ้งไว้ 1 ปี

จากตารางที่ 11 แสดงผลการทดสอบสาหร่ายที่มีความทนทานต่อสารทดสอบ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้นในระดับและช่วงเวลาต่าง ๆ โดยสามารถเรียงลำดับความทนทานจากมากไปหาน้อยได้ดังต่อไปนี้คือ *Oscillatoria jasorvensis* TISTR 8980 = *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 > *Chlorococcum* sp. TISTR 8973 = *Chlorella* sp. TISTR 8972 = *Hapalosiphon stuhlmannii* TISTR 8976 > *Fischerella* sp. TISTR 8975 > *Rivularia* sp. TISTR 8981 > *Scytonema stuposum* TISTR 8983 > *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 > *Nostoc paludosum* TISTR 8978 = *Tolypothrix distorta* TISTR 8985 > *Stigonema hormoides* TISTR 8984 > *Anabaena* sp. TISTR 8969 > *Calothrix marchica* TISTR 8970 > *Mastigocladus* sp. TISTR 8977 > *Chroococcus* sp. TISTR 8974 > *Chlamydomonas* sp. TISTR 8971

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสายพันธุ์สาหร่ายที่มีความทนทานต่อสารทดสอบ กล่าวคือไม่พบการเจริญแต่ยังคงสภาพเดิมเหมือนเริ่มแรก ได้แก่ *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 และ *Oscillatoria jasorvensis* TISTR 8980 และเมื่อนำเอาความถี่ของการแพร่กระจายของสาหร่ายที่พบได้บ่อย (ตารางที่ 10) มาใช้ในการพิจารณาสำหรับการคัดเลือกสายพันธุ์มาตรฐานเพื่อการทดสอบคุณภาพสี จะได้สายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบจำนวน 5 สายพันธุ์คือ

Oscillatoria jasorvensis TISTR 8980, *Scenedesmus* sp. TISTR 8982, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979, *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973 โดยมีลักษณะของแต่ละสายพันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 10



ตารางที่ 11 แสดงความทนทานของสายพันธุ์สาหร่ายที่มีต่อระดับความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในช่วงเวลาต่าง ๆ

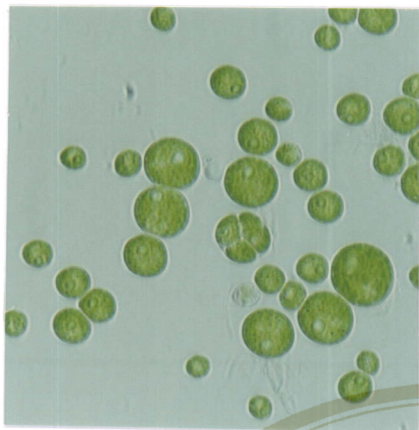
สายพันธุ์	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (%)	การเจริญของสาหร่าย (growth rating)				
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
1. <i>Anabaena</i> sp. TISTR 8969	1	R;R	R;R	R;R	O;O	O;O
	2	R;R	R;R	O;O	O;O	O;O
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
2. <i>Calothrix marchica</i> TISTR 8970	1	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
	2	R;R	R;R	O;O	O;O	O;O
	3	R;R	O;R	O;O	O;O	O;O
3. <i>Chlamydomonas</i> sp. TISTR 8971	1	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
	2	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
4. <i>Chlorella</i> sp. TISTR 8972	1	R;R	R;R	O;O	O;O	R;R
	2	R;R	R;R	R;R	O;O	R;R
	3	R;R	R;R	R;R	O;O	O;O
5. <i>Chlorococcum</i> sp. TISTR 8973	1	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
	2	R;R	R;O	R;O	R;R	R;R
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;R
6. <i>Chroococcus</i> sp. TISTR 8974	1	R;R	R;R	O;O	O;O	O;O
	2	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
7. <i>Fischerella</i> sp. TISTR 8975	1	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
	2	R;R	R;O	R;R	R;R	O;O
	3	R;R	R;R	R;R	O;O	O;O
8. <i>Hapalosiphon stuhlmannii</i> TISTR 8976	1	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
	2	R;R	O;O	O;O	R;R	R;R
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สายพันธุ์	CuSO ₄ · 5H ₂ O (%)	การเจริญของสาหร่าย (growth rating)				
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
9. <i>Mastigocladus</i> sp.	1	R;R	R;R	O;O	O;O	O;O
TISTR 8977	2	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
	3	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
10. <i>Nostoc paludosum</i>	1	R;R	R;R	R;R	O;R	O;O
TISTR 8978	2	R;R	O;O	O;O	O;R	O;O
	3	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
11. <i>Phormidium</i>	1	R;R	R;R	R;O	O;O	O;O
<i>angustissimum</i>	2	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
TISTR 8979	3	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
12. <i>Oscillatoria</i>	1	R;R	R;R	R;RG	R;RG	R;RG
<i>jasorvensis</i>	2	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
TISTR 8980	3	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
13. <i>Rivularia</i> sp.	1	R;R	O;R	R;R	R;R	O;O
TISTR 8981	2	R;R	O;O	R;R	R;R	O;O
	3	R;R	O;O	O;O	O;O	O;O
14. <i>Scenedesmus</i> sp.	1	R;R	R;R	R;R	R;RG	R;RG
TISTR 8982	2	R;R	R;R	R;O	R;R	R;R
	3	R;R	R;R	R;R	R;R	R;R
15. <i>Scytonema</i>	1	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
<i>stuposum</i>	2	R;R	O;O	O;R	O;R	O;O
TISTR 8983	3	R;R	O;O	R;O	R;O	O;O
16. <i>Stigonema</i>	1	R;R	R;R	O;R	O;O	O;O
<i>hormoides</i>	2	R;R	R;O	O;O	O;O	O;O
TISTR 8984	3	R;R	R;R	O;O	O;O	O;O
17. <i>Tolypothrix distora</i>	1	R;R	R;R	R;R	O;O	O;O
TISTR 8985	2	R;R	R;R	R;O	O;O	O;O
	3	R;R	R;R	R;O	O;O	O;O

- หมายเหตุ G = เจริญได้ดีเท่าตัวควบคุม
 RG = เจริญได้น้อยมากเมื่อเทียบกับตัวควบคุม
 R = ไม่พบการเจริญ แต่มีสภาพคงเดิมเหมือนเริ่มแรก
 O = ไม่พบการเจริญและมีการสูญเสียสีเขียวไปจากเดิม
 (L;) หมายถึง จำนวนซ้ำของการทดลอง

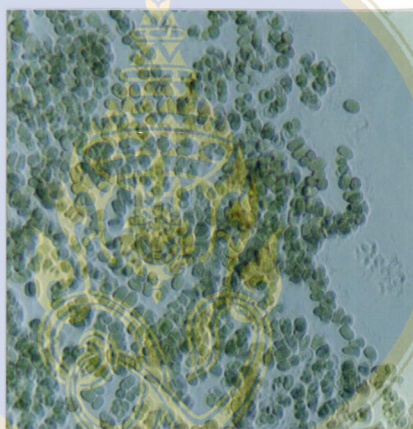




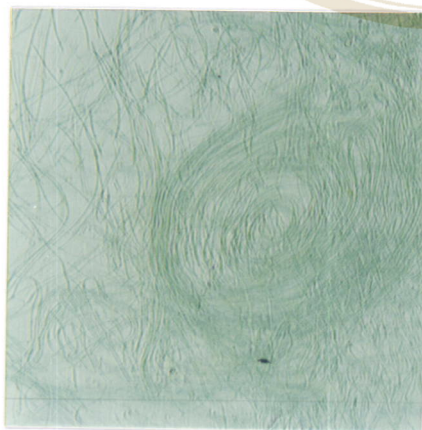
Chlorococcum sp. TISTR 8973 (x400)



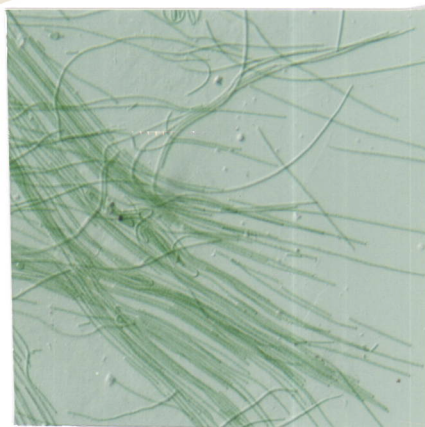
Scenedesmus sp. TISTR 8982 (x400)



Nostoc paludosum TISTR 8978 (x200)



Phormidium angustissimum TISTR 8979 (x400)



Oscillatoria jasarvensis TISTR 8980 (x200)

4.3 การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

4.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีโดยวิธี algal lawn technique

4.3.1.1 การคัดเลือกสารเคมีที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบ

เมื่อนำสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานซึ่งที่ได้จากการคัดเลือกตามข้อ 4.2 คือ *Oscillatoria jasporensis* TISTR 8980, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979, *Nostoc paludosum* TISTR 8978, *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 และ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973 ผสมรวมกัน (เตรียมดังข้อ 3.3.1.1.2) มาทดสอบกับสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายทั้ง 10 ตัว ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่า สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide คือ Polyphase AF-1 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดสอบที่ความเข้มข้นต่ำสุด 1.5% โดยเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบเป็นบริเวณกว้างอย่างเห็นได้ชัดถึง 33.67 มิลลิเมตร ส่วนสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น formulated biocide ที่นำมาทดสอบทั้งสิ้น 8 ตัว พบว่ามีเพียงตัวเดียวที่เกิดโซนยับยั้งคือ Metatin 55-43 ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 3.0% ขณะที่สารเคมีตัวอื่น ๆ สามารถยับยั้งสาหร่ายทดสอบได้เพียงบางส่วน โดยพบว่าในช่วงสัปดาห์แรกของการทดสอบ สารเคมีทุกตัวสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายทดสอบได้เพียงบางส่วนโดยไม่พบโซนยับยั้งรอบแผ่นทดสอบ แต่พบว่าการเจริญของสาหร่ายเป็นหย่อม ๆ กระจายทั่ว โดยบริเวณที่อยู่รอบแผ่นทดสอบพบว่าการเจริญของสาหร่ายอยู่บ้างแต่น้อยกว่าบริเวณบริเวณที่อยู่ห่างออกไป เมื่อนำสาหร่ายที่ยังคงเจริญอยู่ไปตรวจสอบโดยดูจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่าโดยส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Phormidium* ซึ่งพบในปริมาณที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายตัวอื่น ๆ และเมื่อทำการตรวจผลในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า Metatin 55-60, Metatin 55-63, Cutinox 22-60, Cutinox 22-80 ที่ความเข้มข้น 0.5% สาหร่ายไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ Metatin 55-61, Metatin 55-64 และ Metatin 55-71 ที่ความเข้มข้น 1.0% สาหร่ายไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ ส่วนสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide ที่ใช้ในการทดสอบคือ Earthtec พบว่าสามารถใช้ยับยั้งการเจริญของสาหร่ายทดสอบได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด 0.02% โดยเกิดโซนยับยั้งรอบแผ่นทดสอบมีค่าเท่ากับ 34 มิลลิเมตร



จากการทดลองสามารถคัดเลือกสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดสอบ โดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะการยับยั้งเป็นโซนใสที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบขั้นต่อไป สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายทดสอบ ได้แก่

สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น single molecule biocide ได้แก่ Polyphase AF-1 ที่ความเข้มข้น 1.5%

สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น formulated biocide ได้แก่ Metatin 55-43 ที่ความเข้มข้น 3.0%

สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็น copper-based biocide ได้แก่ Earthtec ที่ความเข้มข้น 0.02%



ตารางที่ 12 แสดงผลของสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

สารเคมี		การเจริญของสาหร่ายทดสอบ ¹											
		ความเข้มข้น (%)	0.01	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
1. single molecule biocide													
Polyphase AF-1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	(33.67)	(35.00)	(36.67)
2. formulated biocide													
Metatin 55-43		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(39.00)
Metatin 55-60		+++	+++	+++	+++	++	+	+	-	-	-	-	-
Metatin 55-61		+++	+++	+++	+++	++	++	+	+	-	-	-	-
Metatin 55-63		+++	+++	+++	+++	++	++	+	+	-	-	-	-
Metatin 55-64		+++	+++	+++	+++	++	++	+	+	-	-	-	-
Metatin 55-71		++++	++++	++++	++++	+++	++	+	+	-	-	-	-
Cutinox 22-60		+++	+++	+++	+++	++	+	+	+	-	-	-	-
Cutinox 22-80		+++	+++	+++	+++	++	+	+	+	-	-	-	-
3. copper-based biocide													
Earthtec		-	(34.00)	(38.00)	(38.00)	*	*	*	*	*	*	*	*

หมายเหตุ¹ นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีที่เตรียมในรูปแบบที่ผสมมาทดสอบกับสาหร่ายทดสอบที่คัดเลือกได้ โดยวิธี algal lawn technique จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำการทดลอง นำไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2

ไม่ได้ทำการศึกษา

- ไม่เกิดโทษยับยั้ง, () ขนาดโทษยับยั้ง, + พบการเจริญเล็กน้อย, ++ พบการเจริญค่อนข้างน้อย, +++ พบการเจริญปานกลาง, ++++ พบการเจริญได้ดี

4.3.1.2 การศึกษาวิธีการเตรียม algal lawn ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดสอบ

จากการทดลองโดยการเตรียมอาหารวุ้นเลี้ยงสาหร่าย 3 วิธี คือ spread plate, pour plate และ bilayer plate พบว่า

วิธี spread plate พบว่า วิธีการเตรียมแบบนี้เหมาะสมต่อการใช้กับเซลล์แขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันของสาหร่ายพวกที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว ซึ่งมีความเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย ถึงแม้ว่าจะนำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยเครื่องมือ homogenizer ก็ตาม เมื่อทำการ spread ลงบนผิวหน้าวุ้น สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสายจะกระจายตัวไม่ทั่วผิวหน้า ทำให้มีการเจริญของสาหร่ายพวกนี้เป็นหย่อม ๆ ดังแสดงในภาพที่ 11

วิธี pour plate เป็นการเตรียมที่มีความเหมาะสมเนื่องจากสาหร่ายสามารถเจริญและกระจายตัวได้ทั่วผิวหน้าวุ้น ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว เหมาะสมต่อการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก ๆ

วิธี bilayer plate วิธีนี้สามารถทำให้สาหร่ายเจริญและกระจายตัวได้ดีเช่นเดียวกับวิธี pour plate ดังแสดงในภาพที่ 13

จากการศึกษาเมื่อนำสารเคมีที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3.1.1 ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide คือ Polyphase AF-1 ที่ความเข้มข้น 3.0% ที่เตรียมในรูปแบบฟิล์มสี มาทดสอบกับสาหร่ายทดสอบ โดยทำการเตรียมอาหารวุ้นกับสาหร่ายทดสอบในรูปแบบ algal lawn ที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ spread plate, pour plate และ bilayer plate ทำการวัดความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกยับยั้งการเจริญ ในสัปดาห์ที่ 2 ผลแสดงในตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำไปทดสอบค่าทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่มีการเตรียม algal lawn ที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธี พบว่าค่าเฉลี่ยของความกว้างของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่มีการเตรียม algal lawn ทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อวางทิ้งไว้ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แล้วทำการวัดขนาดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบพบว่าขนาดความกว้างของโซนยับยั้งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากในสัปดาห์ที่ 2 ดังนั้นจึงทำการตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งจะใช้เวลาทดสอบน้อยกว่าวิธีทดสอบของ Acima Chemical Industries Ltd. และ ASTM D5589-94

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีการเตรียม algal lawn ทั้ง 3 วิธี สามารถนำมาใช้ในการเตรียม algal lawn ได้ แต่เนื่องจากการเตรียม algal lawn โดยวิธี spread plate มีข้อเสีย กล่าวคือ สาหร่ายทดสอบมีการกระจายตัวไม่ค่อยสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าวุ้น ทำให้สาหร่ายเจริญเป็นหย่อม ๆ ส่วนวิธี pour plate และ bilayer plate สามารถนำมาใช้ได้ดี แต่เมื่อพิจารณาถึงความสะดวกและรวดเร็วในการเตรียม โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องทดสอบหลาย ๆ ตัวอย่าง วิธี pour plate จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบมากที่สุด





ภาพที่ 11 แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี spread plate



ภาพที่ 12 แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate



ภาพที่ 13 แสดงการเตรียม algal lawn โดยวิธี bilayer plate

ตารางที่ 13 แสดงผลของสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่ความเข้มข้น 3% ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ โดยการเตรียม algal lawn ที่ต่างกัน 3 วิธี

วิธีการเตรียม algal lawn	ค่าเฉลี่ยของโซนยับยั้ง (มิลลิเมตร)*
spread plate ¹	35.17 ± 0.7915 ^a
pour plate ²	34.93 ± 0.6379 ^a
bilayer plate ³	34.90 ± 1.0298 ^a

หมายเหตุ

¹ : ทำการเตรียม algal lawn โดย spread เซลล์สาหร่ายแขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียว 1 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าอาหารรุ้นเลี้ยงสาหร่าย BG-11 ที่แข็งตัวแล้ว 25 มิลลิลิตร ให้ทั่วผิวหน้า

² : ทำการเตรียม algal lawn โดยการเติมเซลล์สาหร่ายแขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารรุ้นที่ห่อมทิ้งไว้ 24 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากัน เทลงบนจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้รุ้นแข็งตัว

³ : เทอาหารรุ้นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 15 มิลลิลิตร ลงบนจานเลี้ยงเชื้อ ปล่อยให้รุ้นแข็งตัว ปิดเซลล์สาหร่ายที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารรุ้น 10 มิลลิลิตร ที่ห่อมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากัน เทลงบนผิวหน้าของอาหารในจานเลี้ยงเชื้อที่แข็งตัวแล้ว ทิ้งไว้ให้รุ้นแข็งตัว

*: นำแผ่นสีทดสอบที่ตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร วางลงบนผิวหน้าอาหารในจานเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ วางไว้ในตู้ควบคุมความชื้น อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2

^a : ค่าเฉลี่ยจาก 30 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan’ s multiple range test

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายโดยวิธี liquid culture toxicity test

จากผลการทดสอบสารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดสาหร่าย 3 กลุ่ม คือ single molecule biocide, formulated biocide และ copper-based biocide ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน กับสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐาน โดยวิธี liquid culture toxicity test แสดงในตารางที่ 14 สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่ความเข้มข้น 0.005% พบว่า ไม่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ โดยมีการเจริญของสาหร่ายได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวควบคุม แต่จะสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายทดสอบได้ที่ความเข้มข้น 0.01% สังเกตได้จากสีเขียวของรงควัตถุมีสีซีดจางและตายลงในสัปดาห์ที่ 2 ขณะที่ความเข้มข้น 0.05% เป็นต้นไป สาหร่ายทดสอบไม่สามารถเจริญได้ ภายหลังจากเลี้ยงเพียง 1 วันพบว่าสีเขียวของรงควัตถุของสาหร่ายซีดขาวทันที

สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น formulated biocide ที่ความเข้มข้น 0.01% พบว่า ไม่สามารถกำจัดสาหร่ายทดสอบได้ โดยมีการเจริญของสาหร่ายได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวควบคุม แต่จะสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายทดสอบได้ที่ความเข้มข้น 0.05% สังเกตได้จากสีเขียวของรงควัตถุมีสีซีดจางและตายลงในสัปดาห์ที่ 2 ขณะที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01% เป็นต้นไป ไม่พบการเจริญของสาหร่ายทดสอบ โดยที่สีเขียวของรงควัตถุของสาหร่ายซีดขาวทันที ภายหลังจากเลี้ยงเพียง 1 วัน

สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำ เมื่อเติมลงไปในหลอดทดลองจะมีสีฟ้าใส จากการทดสอบพบว่า ที่ความเข้มข้น 0.15% (1,500 ppm) สามารถกำจัดสาหร่ายทดสอบได้ โดยที่สาหร่ายมีสีซีดจางและตายลงภายในสัปดาห์ที่ 2 แต่ที่ความเข้มข้น 0.0001% (1 ppm) ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้ในแหล่งน้ำ พบว่าไม่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ สาหร่ายสามารถเจริญได้ปานกลางเมื่อเทียบกับตัวควบคุม คือ สีของรงควัตถุซีดลง และที่ความเข้มข้น 0.001-0.10% (10-1000 ppm) พบการเจริญของสาหร่ายทดสอบได้น้อยลง

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายโดยวิธี liquid culture toxicity test สามารถนำมาใช้ในการคัดเลือกสารเคมีได้ ในกรณีที่สารเคมีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดี ซึ่งสาหร่ายสามารถสัมผัสกับสารเคมีได้โดยตรง โดยสรุปวิธีนี้สามารถนำไปใช้ใน

การเปรียบเทียบและทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีได้ แต่ไม่สามารถบอกถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายที่ให้ผลดี เมื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์สีจริง ๆ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในแง่ของสูตรเคมีของสารเคมีบางตัวจะมีลักษณะเป็น emulsion อาจมีปัญหาในเรื่องของการกระจายตัว และความขุ่นของสาร วิธีนี้จึงเหมาะสมในการคัดเลือกสารชะล้างหรือสารเคมีที่ใช้ในแหล่งน้ำเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จะเห็นได้ว่าวิธี liquid culture toxicity test มีข้อจำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี algal lawn technique ซึ่งผลที่ได้สามารถคาดประมาณหรือให้ค่าเชิงปริมาณ (quantitative) ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากกว่า สามารถตรวจวัดผลได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความเหมาะสมกับการทดสอบสารด้านสาหร่ายในสี ดังนั้นจึงนำวิธี algal lawn technique มาใช้ในการศึกษาในขั้นต่อไป



ตารางที่ 14 การทดสอบประสิทธิภาพของสารป้องกันและกำจัดสาหร่ายโดยวิธี
liquid culture toxicity test

สารเคมี ¹	ความเข้มข้น (%)	การเจริญของสาหร่าย ²
single molecule biocide	0.001	++
	0.005	+
	0.010	-
	0.050	-
	0.100	-
	0.200	-
	0.400	-
	1.000	-
formulated biocide	0.001	+++
	0.005	++
	0.010	+
	0.050	-
	0.100	-
	0.200	-
	0.400	-
	1.000	-
copper-based biocide	0.0001	++
	0.001	+
	0.010	+
	0.100	+
	0.150	-
	0.200	-

หมายเหตุ ¹: นำสาหร่ายในรูปเซลล์แขวนลอยที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน 1 มิลลิลิตร ลงเลี้ยงในอาหารที่ผสมสารเคมี 9 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แต่ละความเข้มข้นทำ 3 ข้ำการทดลอง นำไปบ่มไว้เป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้ม 2,500 ลักซ์

²: การเจริญของสาหร่าย ดูความอยู่รอดของสาหร่ายทดสอบจากการเปลี่ยนแปลงของสีรงควัตถุ ในสัปดาห์ที่ 2

- +++ มีการเจริญของสาหร่ายได้ดีเท่าตัวควบคุม
- ++ มีการเจริญของสาหร่ายได้ปานกลาง
- + มีการเจริญของสาหร่ายได้น้อย
- ไม่พบการเจริญของสาหร่าย

4.4 การศึกษาผลของสารเคมีบนแผ่นทดสอบที่เตรียมในลักษณะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

4.4.1 การศึกษาความสามารถในการละลายของสารเคมีต่อการเกิดโซนยับยั้งการเจริญของสาหร่ายรอบชิ้นทดสอบ

นำสารเคมีที่ได้จากการคัดเลือกทั้ง 3 กลุ่ม มาเตรียมโดยนำมาละลายในน้ำหยดลงบนชิ้นทดสอบและละลายในสี ทำการเตรียมแผ่นทดสอบในรูปฟิล์มสี นำชิ้นทดสอบวางลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate ผลแสดงในตารางที่ 15 พบว่าเมื่อนำสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide มาทดสอบกับสาหร่ายทดสอบ จะเห็นได้ว่าการเตรียมสารเคมีในรูปฟิล์มสี โดยผสมสารเคมีลงในสีทาผนังบนแผ่นทดสอบกับการเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบจะสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน แต่จะให้นิยามเส้นผ่าศูนย์กลางของโซนยับยั้งรอบแผ่นทดสอบแตกต่างกัน กล่าวคือ ในรูปฟิล์มสีเกิดโซนยับยั้งที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ 1.5% จะมีค่าความกว้างของโซนยับยั้ง 33.33 มิลลิเมตร ขณะที่การเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบก็เกิดโซนยับยั้งที่ความเข้มข้นต่ำสุด 1.5% เช่นกัน แต่จะมีค่าความกว้างของโซนยับยั้งถึง 43.33 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารเคมีในกลุ่มนี้ ซึ่งมีคุณสมบัติการละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอื่น ทำให้สามารถกระจายตัวได้ดี แต่เนื่องจากการเตรียมสารเคมีในรูปสารละลาย สารที่ใช้ไม่ได้สร้างพันธะทางเคมีใด ๆ กับสารอื่นเหมือนที่เกิดในฟิล์มสี ทำให้การเกิดโซนยับยั้งชัดเจนและกว้างกว่าการเตรียมในรูปฟิล์มสี โดยที่ขนาดของการยับยั้งจะมีค่ามากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงขึ้น ดังนั้นจากการทดลองนี้สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่เตรียมในรูปฟิล์มสีสามารถใช้ในการกำจัดสาหร่ายทดสอบได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.5 % ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในผลิตภัณฑ์คือ 0.4-1.2 %

สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น formulated biocide ในกรณีนี้ที่เตรียมสารเคมีผสมลงในสีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปฟิล์มสี (paint film) เมื่อนำไปทดสอบกับสาหร่ายทดสอบ พบว่าเกิดโซนยับยั้งรอบชิ้นทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ 3 % ขณะที่การเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบ จะเกิดโซนยับยั้งที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด 1.5% แสดงว่าสารเคมี

ในกลุ่มนี้จะสร้างพันธะกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในสีได้เหนียวแน่นกว่า single molecule biocide ทำให้การแพร่กระจายของสารเคมีที่ใช้ผสมจะเป็นไปได้ดีก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นของสารในแผ่นฟิล์มสูงขึ้น

จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของสารเคมีที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ เมื่อนำมาผสมลงในผลิตภัณฑ์สีที่ความเข้มข้น 1-3 % ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย แต่เมื่อนำมาใช้ทดสอบกับแผ่นทดสอบฟิล์มสีพบว่าต้องใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามคำแนะนำจึงจะสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองอีกชนิดหนึ่งคือสารเคมีที่มีองค์ประกอบของทองแดงซึ่งสารเคมีนี้สามารถละลายน้ำได้ดี จึงมักจะนำมาใช้ในการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำ ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบโดยการผสมลงในสีทาผนังบนแผ่นทดสอบในรูปฟิล์มสี จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่ความเข้มข้นต่ำสุด 0.02% (200 ppm) มีค่า 34.00 มิลลิเมตร ขณะที่เมื่อเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบ จะสามารถกำจัดสาหร่ายทดสอบได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุดเพียง 0.005% (50 ppm) โดยให้ค่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบเป็นบริเวณกว้างถึง 49.67 มิลลิเมตร นั้นแสดงให้เห็นว่าสารเคมีในกลุ่มนี้สามารถให้ผลได้ดีในรูปของสารละลายโดยเฉพาะการเติมลงไปแหล่งน้ำ ซึ่งจะเหมาะกว่าที่จะนำไปใช้ในการผสมลงในสีเนื่องจากเมื่อทำการเตรียมสารเคมีผสมลงในสีจะพบปัญหาการละลาย ซึ่งไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น ถึงแม้ว่าจะนำมาใช้ในการกำจัดสาหร่ายได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ก็ยังละลายได้ไม่ค่อยดี และยังมีค่าสูงกว่าที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ในแหล่งน้ำ (1.0 ppm Cu) นอกจากนี้สารเคมีที่มีองค์ประกอบทองแดง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะหนัก ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผสมลงในสี เนื่องจากมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้พยายามหลีกเลี่ยงที่จะนำมาใช้ในตัวผลิตภัณฑ์สี ซึ่งจะต้องใช้ในปริมาณที่สูงกว่าที่ใช้ในแหล่งน้ำ

การเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนขึ้นทดสอบกับการนำมาผสมลงในสีเคลือบเป็นฟิล์มสีจะทำให้เกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติและความสามารถในการละลายของสารเคมีมีผลต่อการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบบน algal lawn แตกต่างกันไป ดังนั้นการเตรียมสารเคมีโดยผสมลงในสีทาผนังบนแผ่นทดสอบกับการเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบจึงให้ค่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบแตกต่างกันมาก เนื่องจากคุณสมบัติ

สมบัติและโครงสร้างทางเคมีของสารที่มีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำหรือละลายในตัวทำละลายแตกต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบกับสาหร่ายทำให้เกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่เตรียมสารเคมีในรูปสารละลาย เป็นบริเวณกว้างกว่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่เตรียมสารเคมีในรูปฟิล์มสี ทุกระดับความเข้มข้น แสดงว่าสารเคมีที่เตรียมในรูปฟิล์มสี จะค่อย ๆ แพร่ (diffuse) ออกมา ซึ่งแตกต่างกับสารเคมีที่เตรียมในรูปสารละลาย จะเห็นได้ว่าการเตรียมสารเคมีในรูปสารละลายและฟิล์มสี จะให้ผลดีต่อการเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบบนจานเลี้ยงเชื้อที่เตรียม algal lawn เมื่อพิจารณาจากระดับความเข้มข้นและความสามารถในการละลายโดยดูจากโซนยับยั้งแล้ว สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากระดับความเข้มข้นที่สามารถแพร่กระจายออกมาจากฟิล์มสี โดยเปรียบเทียบกับสารเคมีที่เตรียมในรูปแบบของสารละลาย



ตารางที่ 15 แสดงความสามารถในการละลายของสารเคมีต่อการเกิดโซนยับยั้งการเจริญของ
สาหร่ายทดสอบ

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ ³ (มิลลิเมตร)	
		แผ่นฟิล์มสี ¹	แผ่นทดสอบที่หยดสารเคมี ² ในรูปสารละลาย
1.single molecule biocide	0.1	-	-
	0.2	-	-
	0.4	-	-
	0.5	-	-
	1.0	-	-
	1.5	33.33	43.33
	2.0	35.33	50.00
	3.0	36.33	52.67
	5.0	38.00	54.00
2. formulated biocide	0.1	-	-
	0.2	-	-
	0.4	-	-
	1.0	-	-
	1.5	-	58.00
	2.0	-	61.33
	3.0	38.00	65.33
	5.0	40.00	66.00

ตารางที่ 15 (ต่อ)

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ ³ (มิลลิเมตร)	
		แผ่นฟิล์มสี ¹	แผ่นทดสอบที่หยดสารเคมี ² ในรูปสารละลาย
3. copper-based biocide	0.0001	-	-
	0.001	-	-
	0.005	-	49.67
	0.010	-	53.00
	0.020	34.00	62.33
	0.050	38.00	75.33
	0.100	41.00	78.33

หมายเหตุ - = ไม่เกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ

¹: ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มสีโดยนำสารเคมีผสมลงในสีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นำมาเคลือบเคลือบลงบนแผ่นทดสอบ วางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ตัดแผ่นทดสอบเป็นชิ้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร จำนวนความเข้มข้นละ 3 ชิ้นการทดลอง

²: นำสารเคมีมาละลายในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว ให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่ต้องการกัน ปิดเตาสารละลายแต่ละความเข้มข้นมา 0.1 มิลลิลิตร วางบนขึ้นทดสอบที่นำไปนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว จำนวนความเข้มข้นละ 3 ชิ้นการทดลอง

³: นำขึ้นทดสอบ วางลงบนผิวหน้าอาหารในจานเลี้ยงเชื้อที่เตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate วางไว้ในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2

4.4.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มสีทดสอบในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ทำการเตรียมแผ่นทดสอบโดยผสมสารเคมีลงในสี นำไปเคลือบแผ่นทดสอบ วางทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศที่ 0, 1, 3, 7 และ 14 วัน แล้วจึงนำไปทดสอบกับสารถ่ายทดสอบ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าโซนียบยังรอบแผ่นทดสอบที่เตรียมในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าการเตรียมแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีในรูปฟิล์มสี โดยวางทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ กันก่อนนำไปทดสอบ ไม่มีผลต่อการเกิดโซนียบยังรอบชิ้นทดสอบ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวทำละลายที่ผสมอยู่ในสี ที่อาจจะทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้

ดังนั้นแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีในรูปฟิล์มสี แล้วผึ่งให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 1 วัน จึงเหมาะในการนำไปใช้ในการเตรียมแผ่นทดสอบก่อนที่จะนำไปทดสอบ ซึ่งสามารถแน่ใจได้ว่าไม่มีผลมาจากตัวทำละลายหรือสารต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในสี เช่นเดียวกับวิธีการทดสอบความคงทนของฟิล์มสี สารเคลือบและวัสดุที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญของสารถ่ายของ ASTM (1994) มีการเตรียมแผ่นทดสอบที่ทาสีแล้วนำไปวางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง

ตารางที่ 16 ผลของสารเคมีที่เตรียมในรูปแผ่นฟิล์มสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันต่อการเจริญ
ของสาหร่ายทดสอบ

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร) *				
		0 วัน	1 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน
single molecule biocide	1.50	33.3	34.0	34.0	34.0	34.0
formulated biocide	3.00	40.0	38.0	39.0	39.0	39.0
copper-based biocide	0.02	35.0	34.0	34.0	34.0	34.0

หมายเหตุ * ทำการเตรียมแผ่นทดสอบโดยผสมสารเคมีลงในสีให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่
ต้องการ นำไปเคลือบแผ่นทดสอบ วางทิ้งไว้ให้แห้งที่ 0, 1, 3, 7 และ 14 วัน
แล้วจึงนำขึ้นทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร วางลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีการเตรียม
algal lawn โดยวิธี pour plate จำนวนความเข้มข้นละ 3 ขี้การทดลอง นำไปบ่ม
ในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์
ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2

4.4.3 การฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบ

เมื่อนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีไปผ่านการฆ่าเชื้อ แล้วนำไปทดสอบกับสารละลายทดสอบ ผลแสดงในตารางที่ 17 พบว่าโซนียบยังรอบขึ้นทดสอบที่ฆ่าเชื้อแล้วกับขึ้นทดสอบที่ไม่ฆ่าเชื้อจะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดโซนียบยังรอบขึ้นทดสอบ และเมื่อวางจานเลี้ยงเชื้อทิ้งไว้จนครบ 1 เดือน พบว่าไม่มีการปนเปื้อนจากเชื้อรา ดังนั้นการเตรียมแผ่นทดสอบจึงไม่จำเป็นต้องนำไปผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำไปทดสอบ หากทำการทดสอบในห้องที่สะอาด



ตารางที่ 17 ผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ฆ่าเชื้อแล้วกับแผ่นฟิล์มสีที่ไม่ได้
ฆ่าเชื้อต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)*	
		ไม่ฆ่าเชื้อ	ฆ่าเชื้อ
single molecule biocide	1.50	34.0	33.0
formulated biocide	3.00	38.3	38.0
copper-based biocide	0.02	34.0	34.0

หมายเหตุ * ทำการเตรียมแผ่นทดสอบโดยผสมสารเคมีลงในสีให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่
ต้องการนำไปเคลือบแผ่นทดสอบ วางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24
ชั่วโมง แล้วจึงนำขึ้นทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตรไปนั่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที วางทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวางลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่
มีการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำการ
ทดลอง นำไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้
แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัด
ผลในสัปดาห์ที่ 2



ภาพที่ 14 แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มที่ผ่านการเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ
ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

4.4.4 การชะล้างฟิล์มสีที่เคลือบบนแผ่นทดสอบ

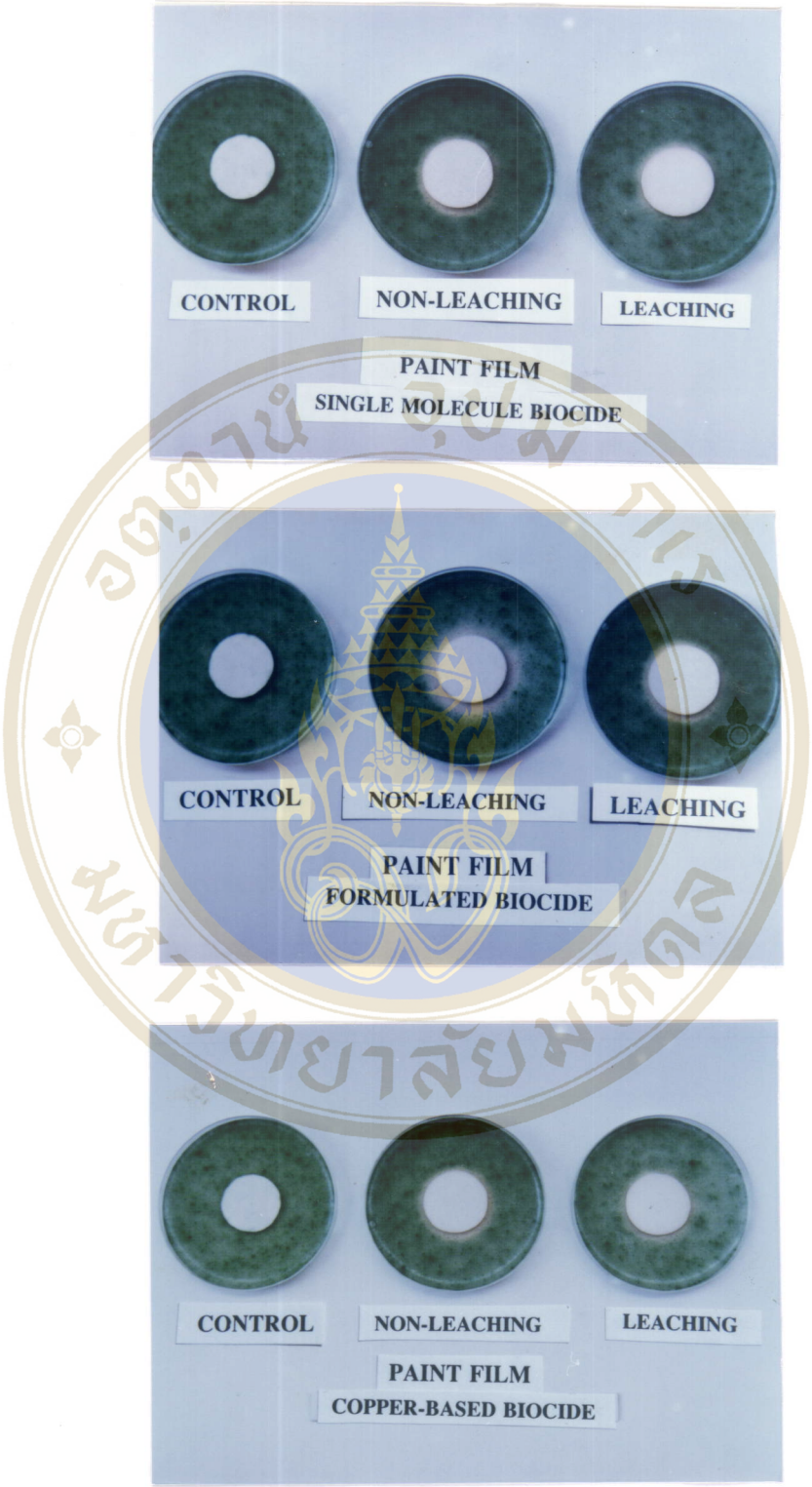
จากตารางที่ 18 เมื่อนำแผ่นทดสอบไปผ่านการชะล้าง แล้วนำมาทดสอบกับสาหร่ายทดสอบพบว่า สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่ 1.5% และ formulated biocide ที่ 3.0% จะแสดงโซนยับยั้งเป็นบริเวณกว้าง 32 และ 34 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าความกว้างของโซนยับยั้งน้อยกว่าแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้าง ส่วนแผ่นทดสอบที่เคลือบสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide โดยเตรียมในรูปฟิล์มสี ที่ความเข้มข้น 0.02% เมื่อนำแผ่นทดสอบไปชะล้างด้วยน้ำที่ไหลผ่านตลอด แล้วจึงนำไปทดสอบกับสาหร่ายทดสอบพบว่าเกิดโซนยับยั้งรอบชิ้นทดสอบเป็นบริเวณกว้าง 34 มิลลิเมตรเท่ากับแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้าง ดังแสดงในภาพที่ 17

จะเห็นได้ว่าการแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้างจะมีความเข้มข้นของสารเคมีคงที่ ขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง จะมีสารเคมีบางส่วนถูกชะล้างออกไป ทำให้ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารเคมีลดลง ส่งผลให้มีค่าโซนยับยั้งรอบชิ้นทดสอบน้อยกว่าแผ่นทดสอบที่ไม่ถูกชะล้าง ดังนั้นการชะล้างแผ่นสีทดสอบก่อนนำไปทดสอบจึงเป็นการศึกษาที่ได้พยายามทำให้ใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง ดังนั้นการผสมสารเคมีลงในผลิตภัณฑ์สีจึงจำเป็นต้องใช้ให้มีความเข้มข้นที่สูงกว่าระดับที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 18 ผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ถูกชะล้างและไม่ถูกชะล้างต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร) *	
		ไม่ถูกชะล้าง	ถูกชะล้าง
single molecule biocide	1.50	34.0	32.0
formulated biocide	3.00	41.0	34.0
copper-based biocide	0.02	34.0	34.0

หมายเหตุ * นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสีผสมสารเคมีที่แห้งแล้ว มาทำการชะล้างโดยแช่แผ่นทดสอบไว้ในภาชนะบรรจุน้ำ ให้น้ำท่วมทั่วผิวน้ำแผ่นทดสอบ ปลดปล่อยน้ำให้ไหลลงสู่ก้นภาชนะในอัตรา 6 เท่า ของปริมาตรของภาชนะต่อ 24 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบมาวางทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำขึ้นทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร วางลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate จำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำการทดลอง นำไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2



ภาพที่ 15 แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ถูกชะล้างและไม่ถูกชะล้าง
ต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

4.4.5 การทดสอบความคงทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ

จากการทดลอง เมื่อนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารเคมีในรูปฟิล์มสีไปเร่งภาวะ แล้วจึงนำไปทดสอบกับสาหร่ายทดสอบ จากตารางที่ 19 พบว่าไม่เกิดโซนยับยั้งรอบแผ่นทดสอบที่เคลือบสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide และ formulated biocide ในรูปฟิล์มสี เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการเร่งภาวะ ขณะที่แผ่นทดสอบที่เคลือบสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide ในรูปฟิล์มสีที่ผ่านการเร่งภาวะ เมื่อนำไปทดสอบกับสาหร่ายทดสอบจะเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบเป็นบริเวณกว้างมีค่า 32 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการเร่งภาวะ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 16 ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลกระทบโดยตรงจากสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไปคือ แสง อุณหภูมิ และความชื้น ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของฟิล์มสีและสารเคมีที่ผสมลงในสี การเสื่อมสภาพนั้นจะช้าหรือเร็วขึ้นกับสภาพแวดล้อม ในบริเวณที่มีความชื้นสูงตลอดเวลา เช่น ภาคใต้ของประเทศไทย อัตราการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นเร็วมาก Drisko และ Crilly. (1974) กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีป้องกันและกำจัดสาหร่ายในฟิล์มสี ประกอบด้วย ความเป็นพิษ การระเหยกลายเป็นไอ คุณสมบัติของการชะล้าง และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ขบวนการ hydrolysis การแตกตัวของสารโดยรังสีเหนือม่วง หรือการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีไปอยู่ในรูป inert หรือเกิดการระเหยเป็นไอสูบรรยากาศโดยเร็ว การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารเคมีที่มีองค์ประกอบ single molecule biocide และ formulated biocide ไม่สามารถทนทานต่อสาหร่ายทดสอบได้ เมื่อนำแผ่นทดสอบไปผ่านการเร่งสภาวะ เนื่องจากโมเลกุลของสารเคมีง่ายต่อการถูกทำลาย ในขณะที่ copper-based biocide ทนทานต่อสาหร่ายทดสอบได้เพราะทองแดงที่เป็นองค์ประกอบของสารในกลุ่มนี้ เป็นสารโลหะหนักมีความคงตัวสูงถึงแม้จะผ่านการเร่งสภาวะ

การศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารเคมีในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายในท้องปฏิบัติการนั้น เมื่อนำความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารที่ได้ไปใช้ในสภาพจริง มักจะควบคุมการเสื่อมสภาพได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นการผสมสารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สีจึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารเคมีสูงกว่าระดับที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 19 ผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านและไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อ
การเจริญของสาหร่ายทดสอบ

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของโซนยับยั้งรอบชั้นทดสอบ (มิลลิเมตร) *	
		ไม่ผ่านการเร่งสภาวะ	ผ่านการเร่งสภาวะ
single molecule biocide	1.50	34	-
formulated biocide	3.00	39	-
copper-based biocide	0.02	35	32

หมายเหตุ * นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสีผสมสารเคมีที่แห้งแล้ว ไปฝังในเครื่องเร่งสภาวะเป็นเวลา 168 ชั่วโมง โดยมีภาวะวงจรคือ รับแสง 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควบแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 168 ชั่วโมงให้นำแผ่นทดสอบมาวางทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร วางลงบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate จำนวนความเข้มข้นละ 3 ข้ำการทดลอง นำไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2



ภาพที่ 16 แสดงผลของสารเคมีบนแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการเร่งสภาวะและไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการเจริญของสาหร่ายทดสอบ

4.5 การศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

เมื่อนำสารเคมีมาผสมลงในสี นำมาเคลือบลงบนแผ่นทดสอบ วางทิ้งไว้ให้แห้ง นำขึ้นทดสอบมาทดสอบกับสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองและสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ โดยวิธี algal lawn technique ที่ทำการเตรียม algal lawn แบบ pour plate ผลดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่าสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide ที่ความเข้มข้น 1.5% และ formulated molecule ที่ความเข้มข้น 3.0% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทดสอบได้โดยเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบบน algal lawn ของสาหร่ายพื้นเมืองมีค่าน้อยกว่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบของสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ แสดงว่าสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองมีความทนทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบมากกว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ แต่เมื่อนำสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide มาทดสอบกับสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมือง จะให้ค่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบมากกว่าโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบที่นำมาทดสอบกับสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ แสดงว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศมีความทนทานมากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศโดยส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว ซึ่งสาหร่ายในกลุ่มนี้สามารถทนทานต่อทองแดงที่เป็นสารในกลุ่มโลหะหนักได้ดี ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Wilkinson SC, Goulding KH และ Robinson PK (1990) พบว่าสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว *Chlorella* มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนักในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้

ดังนั้นการนำสาหร่ายมาใช้ในการทดสอบ ควรคำนึงถึงสายพันธุ์พื้นเมืองที่พบได้ในประเทศนั้น จึงจะทำให้สามารถคัดเลือกสารเคมีที่จะนำมาใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพ

ตารางที่ 20 แสดงความทนทานของสารละลายพืชพื้นเมืองกับสารละลายพืชต่างประเทศต่อสารเคมีที่ป้องกันและกำจัดสาหร่าย

สารเคมี	ความเข้มข้น %	ขนาดของไซนัยยงรอบดินทดสอบ (มิลลิเมตร)		
		สารละลายพืชพื้นเมือง	สารละลายของ Acima Chemical Industries	สารละลายของ Thor Chemicals (UK) Ltd.
single molecule biocide	1.50	33.50	35.00	39.00
	3.00	36.67	41.00	41.00
formulated biocide	1.50	-	37.00	47.00
	3.00	38.00	40.00	49.00
copper-based biocide	0.02	34.00	31.00	36.00
	0.05	38.00	35.00	38.00

หมายเหตุ * นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีผสมสารเคมีที่เตรียมในรูปฟิล์มสีมาทดสอบกับสารละลายทั้ง 3 กลุ่ม โดยวิธี algal lawn technique
ความเข้มข้นละ 3 ข้างการทดลอง นำไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์
ความเข้มแสง 2,500 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจวัดผลในสัปดาห์ที่ 2

4.6 การศึกษาความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบ

ทำการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีน้ำทาภายนอกจำนวน 13 ตัวอย่างมาทดสอบกับสาหร่าย โดยวิธี algal lawn technique ผลการทดสอบพบว่า มีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่ให้ผลในการป้องกัน และกำจัดสาหร่ายทดสอบได้ (คิดเป็นร้อยละ 15 ของสีที่ขายในท้องตลาดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย) คือ เกิดไชนียับยั้งรอบขึ้นทดสอบอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัวอย่างเป็นสีที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป แต่ไม่ได้ขอมาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อการทดสอบ ในตัวผลิตภัณฑ์จึงสามารถผสมสารที่มีพิษพวกโลหะหนักซึ่งเป็นสารที่ห้ามนำมาเติมลงไป ในผลิตภัณฑ์ได้ ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวอย่างจะสามารถป้องกันและกำจัดสาหร่ายได้ดีพอ แต่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพผู้ใช้และสิ่งแวดล้อมด้วย

จะเห็นว่าผู้ผลิตสีโดยส่วนใหญ่ ได้ให้ความสนใจเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้านทานเชื้อรา มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้านสาหร่าย ดังจะเห็นได้จากการกำหนดมาตรฐานสีที่ทนทานต่อเชื้อรา ออกมาใช้เพื่อทดสอบผลิตภัณฑ์เป็นเวลาหลายปีแล้ว แต่ปัญหาการเสื่อมสภาพของฟิล์มสีบน พื้นผิวมีสาเหตุมาจากสาหร่ายสามารถพบได้ทั่วไปโดยเฉพาะบนพื้นผิวคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากที่ ความเป็นด่างสูง ๆ จะยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ (Whiteley, 1966) จึงพบการเจริญของสาหร่าย ได้มากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงควรให้ความสนใจในการวิจัยและศึกษาเพื่อหาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายบนฟิล์มสี รวมทั้งศึกษาวิธีทดสอบสีด้านสาหร่าย เพื่อคัดเลือก ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานสีที่ทนทานสาหร่ายต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นผิวอาคารบ้านเรือน ผนังคอนกรีตที่ทาสี กำแพง รั้ว โบราณสถานและโบราณวัตถุ เพื่อคัดเลือกสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานที่เป็นสาหร่ายสาหร่ายพันธุ์พื้นเมือง เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบความคงทนของสี รวมทั้งทำการศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายบนพื้นผิว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ผลของการสำรวจการแพร่กระจายของสาหร่ายพันธุ์สาหร่ายที่เจริญบนพื้นผิว 100 ตัวอย่าง พบว่า มีสาหร่ายทั้งสิ้น 3 class 26 สกุล 59 สายพันธุ์ ได้แก่ class Cyanophyceae จำนวน 17 สกุล 45 สายพันธุ์ class Chlorophyceae จำนวน 6 สกุล 11 สายพันธุ์ และ class Bacillariophyceae จำนวน 3 สกุล 3 สายพันธุ์ เมื่อทำการจำแนกตามสกุลของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน class Cyanophyceae ที่อยู่ในสกุล *Phormidium* พบมากที่สุดถึงร้อยละ 76 รองลงมาคือ *Nostoc* พบร้อยละ 44 ขณะที่สาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในสกุล *Chlorococcum* โดยพบร้อยละ 41

ผลการทดสอบความทนทานของสาหร่ายที่มีต่อสารทดสอบ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในห้องปฏิบัติการ พบว่า สาหร่ายที่มีความทนทานต่อสารทดสอบ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria jatorvensis* TISTR 8980 และสาหร่ายสีเขียวสกุล *Scenedesmus* sp. TISTR 8982 ซึ่งสามารถใช้เป็นสาหร่ายมาตรฐานของประเทศไทยสำหรับการทดสอบคุณภาพของสี

เมื่อนำเอาเกณฑ์ความทนทานสารเคมีของสาหร่ายทดสอบ และความถี่ของการแพร่กระจายของสาหร่ายที่พบได้บ่อยมาใช้ในการพิจารณาสำหรับการคัดเลือกสาหร่ายพันธุ์สาหร่าย

มาตรฐานของประเทศไทยเพื่อทดสอบคุณภาพสี จะได้สายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐาน 5 สายพันธุ์ คือ *Oscillatoria jatorvensis* TISTR 8980, *Scenedesmus* sp. TISTR 8982, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979, *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973

เมื่อนำสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานทั้ง 5 สายพันธุ์ มาทดสอบกับสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย 3 กลุ่ม 10 ตัว โดยวิธี algal lawn technique พบว่าสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide คือ Polyphase AF-1 สามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 1.5% สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น formulated biocide คือ Metatin 55-43 สามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 3.0% และสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide สามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 0.02%

นำสารเคมีที่ได้จากการคัดเลือกทั้ง 3 กลุ่ม มาทดสอบกับสาหร่ายโดยวิธี liquid culture toxicity test พบว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมต่อการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมี เนื่องจากมีข้อจำกัด เมื่อนำมาใช้ทดสอบสารเคมีที่มีลักษณะเป็น emulsified จะมีปัญหาในเรื่องการกระจายตัวและความขุ่นของสาร

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีโดยวิธี algal lawn technique พบว่าการเตรียม algal lawn โดยวิธี pour plate เป็นวิธีการเตรียมที่ง่ายและสะดวกในกรณีที่ต้องทดสอบตัวอย่างเป็นจำนวนมาก และเมื่อทำการศึกษาความสามารถในการละลายของสารเคมีต่อการเกิดโซนยับยั้งสาหร่ายรอบขึ้นทดสอบ พบว่า เมื่อเตรียมแผ่นทดสอบโดยผสมสารเคมีเข้ากับสี นำมาเคลือบในรูปฟิล์มสี กับการนำสารเคมีมาละลายในน้ำกลั่นในรูปสารละลายหยดลงบนแผ่นทดสอบ แล้วจึงนำขึ้นทดสอบมาวางบน algal lawn พบว่าเกิดโซนยับยั้งรอบขึ้นทดสอบเป็นบริเวณกว้างอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นวิธี algal lawn technique จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

จากการศึกษาผลของสารเคมีต่อการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสีที่เตรียมในสภาวะต่าง ๆ ต่อการเจริญของสาหร่าย พบว่า การเตรียมแผ่นทดสอบโดยผสมสารเคมีลงในสี แล้วนำไปเคลือบแผ่นทดสอบในรูปฟิล์มสี ควรผึ่งให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 1 วัน โดยไม่ต้องนำแผ่นทดสอบไปผึ่งเชื้อ แล้วจึงจะนำไปใช้ในการทดสอบโดยวิธี algal lawn technique และเมื่อทำการทดสอบ

โดยนำแผ่นทดสอบที่เตรียมไว้ไปผ่านการชะล้าง พบว่ามีสารเคมีบางส่วนที่ถูกชะล้างออกไป ทำให้ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารเคมีลดลง เช่นเดียวกับเมื่อนำแผ่นทดสอบไปทดสอบความคงทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ พบว่าประสิทธิภาพของสารเคมีในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายลดลง ดังนั้นการผสมสารเคมีลงในผลิตภัณฑ์สี จึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงกว่าระดับที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาความทนทานของสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานกับสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศต่อสารเคมีพบว่าสาหร่ายสายพันธุ์พื้นเมืองจะมีความทนทานต่อสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น single molecule biocide และ formulated biocide มากกว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศ ขณะที่เมื่อนำมาทดสอบกับสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็น copper-based biocide พบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ต่างประเทศสามารถทนทานต่อสารเคมีได้มากกว่า

ทำการทดสอบความคงทนของสีที่ใช้ในทางการค้าต่อสาหร่ายทดสอบพบว่า สีน้ำพลาสติกชนิดทากายนอกจำนวน 13 ตัวอย่าง เมื่อนำมาทดสอบกับสาหร่ายโดยวิธี algal lawn technique พบว่ามีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่ให้ผลดีในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในขั้นต่อไป โดยใช้เทคนิคการประเมินในขั้นที่ 2 คือการนำสี พื้นผิว และสหายมาทดสอบ ภายได้สภาพที่คล้ายคลึงกับสภาพที่จะนำไปใช้ได้จริง ๗

5.2.2 ควรทำการศึกษาและทดสอบในภาคสนาม ซึ่งจะนำไปใช้ในสภาพจริงต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายที่เติมลงในผลิตภัณฑ์สี จะต้องมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ



บรรณานุกรม

กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์. สหรัย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2527: 1-343.

American Water Works Association. Water Quality and Treatment. 2nd ed. 1950: 109-124.

Ahmadjian V. A guide to the algae occurring as lichen symbionts: isolation, culture, cultural physiology and identification. *Phycologia* 1967; 6: 127-160.

Allsopp, Seal J. Introduction to biodeterioration. London: Edward Arnold, 1986: 113-119.

Anon. A caring commitment. *Stone Inds.* 1979; 14, 9: 16-18.

Aslam M, Singh SM. Copper sulphate as an algicide in limewash. *Paintindia* 1971; 21, 9: 21-22.

ASTM. Determining the resistance of paint film and related coatings to algal defacement. ASTM Method D5589-94, American Society for Testing and Materials, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103, USA.

ASTM. Operating light- and water-exposure apparatus (fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials. ASTM Method G53-96, American Society for Testing and Materials, 1916 Race St. , Philadelphia, PA 19103, USA.

Barti M, Velecky R. The fungicidal effect of organic tin in cements, limes and plasters. *Cement Tech* 1971; 2, 2: 51, 54-57.

Bravery AF, Jones SC. Occurrence of biocidal growths on concrete dams in North Scotland DOE, Princes Risborough Laboratory. *Summery in biodeterioration Society Newsletter* 3,1977.

- Bravery AF. Origin and nature of mould fungi in buildings. Proc. Joint BRE/PRA Seminar on mould in buildings June 1980 BRE, Price Risborough, Aylesbury, Bucks.
- Bravery AF. Preservation in the construction industry. In : Russell, AD., Hugo WB. and Ayliffe GA. J. Preservation and Sterilisation. Oxford: Blackwell Scientific 1981.
- Bold HC, Wynne MJ. Introduction to the algae. New Jersey: Prentice Hall, Inc., Engle wood Cliffs, 1978: 706.
- Brown RM, Larson DA, Bold HC. Airborne algae : Their abundance and heterogeneity. Science 1964; 143: 583-585.
- Chew SK. The quality, cost and delivery for the anti- algae emulsion paint- The review of the Singapore Paint Manufacturers' Association. Proceedings of seminar in emulsion paint for quality painting of buildings in the tropics. Singapore, 17th August 1990.
- Chua NH, Kwok SW, Tan KK, Teo SP, Wong HA. Growths on concrete and other similar surfaces in Singapore. J. Singapore Inst. Architects 1972; 51: 13-15.
- Degelius, G. Über Verwitterung von Kalk- und Dolomitengestein durch Algen und Flechten. 1962: 156-163, quoted in Wee YC, Lee KB., Proliferation of algae on surfaces of building in Singapore. Int. Biod. Bull. 1980; 16, 4: 113-117.
- Desikachary TV. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 1959 : 686.
- Drisko W, Crilly B. Control of algal growth on paints at tropical locations. J. of Paint Technology 1974: 46.
- Dukes WH. Conservation of stone: Causes of decay. Architects Journal 1972; 156, 34: 429-432.

- Favali MA, Barbieri N, Bassi M. A green alga growing on a plastic film use to protect archeological remains. *Int. Biodet. Bull* 1978; 14, 3: 89-93.
- Fogg GE. Survival of algae under adverse conditions. In: *Dormancy and survival, Symposia of the society for experimental Biology*, no. 23. Cambridge University Press., 1969.
- Fritsch FE. *The structure and reproduction of the algae*. vol. 1 and 2. Cambridge University Press, 1971
- Fusey P, Hyvert G. Biological deterioration of stone monuments in Cambodia. *Soc. Chem. Ind. Monograph* 1966; 23: 125-129.
- Gillatt JW. The need for antifungal and antialgal additives in high performance surface coatings. Thor Chemicals (UK) Ltd. Cowley House, Earl Road, Cheadle Hulme, Cheshire SK8 6QP, UK, 1990.
- Grant C, Bravery AF. Laboratory evaluation of algicidal biocides for construction materials,
1. An assessment of some current test methods. *Int. Biodet. Bull.* 1981a; 17, 4: 113-123.
- Grant C, Bravery AF. Laboratory evaluation of algicidal biocides for construction materials,
2. Use of the vermiculite-bed technique to evaluate a quaternary ammonium biocide. *Int. Biod. Bull.* 1981b; 17, 4: 125-131.
- Grant C. Fouling of terrestrial substrates by algae and implications for control- a review. *Int. Biodet. Bull.* 1982; 18, 3: 57-65.
- Gruia L. Alge din roca alterata de sub pernitele de muschi. *St Si Cerc Biol. Seria Botanica* 1970, T.22 (3P): 195-200, quoted in Grant C, Fouling of terrestrial substrates by algae and implications for control- a review. *Int. Biodet. Bull.* 1982; 18, 3: 57-65.

Keen R. Controlling algae and other growths on concrete. Adv. Note 45.02 Cement and Concrete Association, Wexham Springs. Slough, England, 1976.

Krumbein WE, Lange C. Decay of plaster, paintings and wall materials of the interior of building via microbial activity In: Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology, vol. 2 The terrestrial Environment, 1978.

Lefevre M, Laporte GS. The “maladic verte” of Lascaux. Diagnosis and treatment. Studies in Speleology 1969; 2, 1: 35-44.

Mishra AK, Jain K, Banerjee E. Control of algal growth on monuments: Evaluation of some biocides in vitro: The third international conference on biodeterioration of cultural property. Bangkok, Thailand, 1995: 341-352.

Morton LHG. Laboratory test methods for assessing the algicidal properties of biocidal wash preparations. Int. Biodet Bull. 1979; 15, 3: 84-86.

Ngiam TL, Yong FM, Wong HA, Lam. AG. Inhibition of algal growth on paints. J. Singapore Inst. of Architects 1973; 58: 3-5.

Ngiam TL, Yong FM. Inhibition of algal growth in paints (PartII) J. Singapore Inst Architects 1975; 68: 25-26.

Paleni A , Curri SB. L’agression des algues et des lichens aux pierres et moyens pour la combattre. 1st Int. Symp. on the Deterioration of building Stones, La Rochelle, September 1972: 157-166, quoted in Grant C. Fouling of terrestrial substrates by algae and implications for control- a review. Int. Biodet. Bull. 1982; 18, 3: 57-65.

Palmer C, Maloney E. Preliminary Screening for Potential Algicide. The Ohio Journal of Science 1955; 5: 1-8.

Palmer MC and Square K. Algae and water pollution. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1977; 123.

Palmer MC. Algae in Water Supplies. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Washington, 1962; 88.

Pantastico JB. Taxonomy of the Fresh-Water Algae. Wm.C.Brown Company Publishers, Dubuque, Metro-Manila, 1972; 260.

Postgate J. Biological Nitrogen Fixation. Watford England: Merrow, 1972.

Prescott GW. How to know the freshwater algae Wm.C.Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, 1978; 293.

Richardson BA. Algal, lichen, mosses: What they are and what they do. Building maintenance 1973a; 7, 3: 29-31.

Richardson BA. Control of biological growths. Stone Industries 1973b; 8, 2: 2-6.

Rusch TE, Pritchert EA, Smith RA, Arbir FW. Algal defacement: Evaluating algicidal properties of latex paints containing nonmercurial mildewicides. Canada Paint Film 1977; 51, 5: 84, 86-88.

Schlichting HE. Some subaerial algae from Ireland. Br. Phycol. J. 1975; 10: 257-261.

Singapore Institute of Standards. Specification for algae resistant emulsion paint for decorative
SS345: 1990, Singapore Institute of Standards and Industrial Research.

Singhasiri Chalit, Wangteeraprasert Thitima, Kongsanit Prateep. A study on removal of algae
and lichens on Sandstone, Panomwan Sanctuary. The third international conference on
biodegradation of cultural property. Bangkok, Thailand, 1995: 341-352.

Skinner CE. The role of algae in the deterioration of decorative and marine paints. Proc. XI
Congress FATIPEC 1972a; 6.

Skinner CE. Laboratory test methods for biocidal paints. In: Walters, AH. and Hueck-Van der
Plas EH.(Eds). Biodegradation of Materials, vol.2 Proc. 2nd. International
Biodegradation Materials, vol.2 Proc. 2nd. International Biodegradation Symposium,
Lunteren, The Netherlands 13-18 September, 1971. Applied Science Publishers Ltd.,
London, 1972b: 346-354.

Springle R. Guide to paint film fungicides. Paint Research Association, Teddington. Middx,
1979.

Sripleng A. Diversity of plants on the brick monuments. The third international conference on
biodegradation of cultural property. Bangkok, Thailand, 1995: 341-352.

Stainer RY., Kunisawa R., Mandel M. and Cohen-Bazire G., Purification and properties of
unicellular blue-green algae (order Chlorococcales). Bact. Rev. 1971; 35: 171-205.

Stewart WDP. Nitrogen Fixation in Plants. University of London: The Athlone Press, 1966.

Usher FJ. The blue- green alga *Scytonema stuposum* (Kutz) born on fabrics. Int. Biod. Bull.
1971; 7, 3: 113-114.

Wee YC, Lee KB. Proliferation of algae on surfaces of building in Singapore. *Int. Biod. Bull.* 1980; 16, 4: 113-117.

Whiteley P. The occurrence and prevention of mould and algal growths on paint films, *Society of Chemical Industry Monograph no.2*, 1966: 161-169.

Whiteley P. The occurrence and control of moulds and algae on paints. *JOCCA* 1973; 56: 382-387.

Whiteley P, Bravery AF. Masonry paints and cleaning methods for walls affected by organic growth. *J. OCCA* 1982; 65:25-27.

Whitford LA, Schumacher GJ. A manual of the freshwater algae in North Carolina. *The North Carolina Experiment Station, North Carolina*, 1969; 313.

Wilkinson SC, Goulding KH and Robinson PK. Mercury removal by immobilized algae in batch culture systems. *J. Appl. Phycol.* 1990; 2: 223-230

Wright SJL. Use of microalgae for the assay of herbicides. In: *Some methods for microbiology assay*. Edited by Board RG. and Lovelock DW. London: Academic Press; 1975; 257-269.

Yong FM, Yeow CT, Chua NH, Wong HA. Method for screening and evaluating algicidal or algistatic surface coatings. *J. Singapore Inst. Architects* 1972; 53: 13-19.

ภาคผนวก ก

สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดสาหร่าย (algicide)

1. Metatin 55-43

ชื่อทางการค้า	Metatin 55-43
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์	N-substituated, isomeria ketothiazole
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	emulsion paints and structural coating 1.0-3.0%
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	ของเหลวสีเหลืองหรือน้ำตาลใส ใช้ในการต่อต้านเชื้อราและสาหร่าย สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลาย organic solvents เช่น อัลกอฮอล์ คีโตน สารละลายกลุ่มวงแหวน
ลักษณะการนำไปใช้	ใช้ในผลิตภัณฑ์พวก water, solvent-based, pigmented และ clear products เช่น สี กาว adhesives, emulsion paint และ structural coating

2. Metatin 55-60

ชื่อทางการค้า	Metatin 55-60
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์	substituted aryl urea derivative
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	paints 0.5-1.0%, plasters 0.2-0.3 %
ความเข้มข้นที่ใช้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	ครีมข้นสีขาวหรือสีตาลใส ไม่ละลายน้ำและสารละลายอินทรีย์ สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดีแต่ไม่สามารถกระจายตัวในสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ

ลักษณะการนำไปใช้

ใช้เป็นสารต้านสาหร่ายผสมในผลิตภัณฑ์สี
พวกสีน้ำทาพื้นผิวภายนอกอาคาร มีความเป็น
พิษต่อมนุษย์ต่ำ

3. Metatin 55-61

ชื่อทางการค้า

Metatin 55-61

ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์

synergistic combination of aryl urea
derivatives and imidazol derivatives

ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้

paints 0.5-3.0%, plasters 0.2-2.0 %

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5,
2.0, 3.0 % (w/w)

ลักษณะของสารและคุณสมบัติ

ของเหลว สีเทาน้ำตาล ไม่ละลายน้ำและสาร
ละลายอินทรีย์ แต่สามารถกระจายตัวในน้ำ
ได้ดีแต่ไม่สามารถกระจายตัวในสารละลาย
อินทรีย์ ที่ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติในการ
ป้องกันและกำจัดสาหร่ายและเชื้อรา

ลักษณะการนำไปใช้

ใช้ในผลิตภัณฑ์พวกสีน้ำ สีน้ำมัน ใช้ป้องกัน
หรือทาภายนอกพื้นผิวอาคารที่หยาบ
สามารถต่อต้านการเจริญของเชื้อราและ
สาหร่ายได้

4. Metatin 55-63

ชื่อการค้า

Metatin 55-63

ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์

combination of imidazol, isomeric ketothiazol
and aryl urea derivatives

ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้

plasters and wall coatings 0.2-1.0 %

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

coatings for outside use 1.0-3.0%

0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5,
2.0, 3.0 % (w/w)

ลักษณะของสารและคุณสมบัติ

ของเหลว สีเทาขาว ไม่ละลายน้ำและสารละลายอินทรีย์ สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่กระจายตัวในสารอินทรีย์ที่มีขั้วและไม่มีขั้ว pH อยู่ในช่วง 4-7

ลักษณะการนำไปใช้

ใช้ในผลิตภัณฑ์ สีน้ำ มีคุณสมบัติในการป้องกัน และกำจัดเชื้อราและสาหร่าย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีสภาพอากาศแปรปรวน สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ต่ำ สามารถใช้ผลิตภัณฑ์สีทาภายในได้ด้วย

5. Metatin 55-64

ชื่อทางการค้า

Metatin 55-64

ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์

preparation based on imidazol-, isomeric ketothiazol-, s-triazin- and aryl-urea derivatives

ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้

surface coatings 0.5-3.0%,
surface plaster 0.2-1.0%

ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)

ลักษณะของสารและคุณสมบัติ

ครีมข้นสีขาวใส ไม่สามารถกระจายตัวในน้ำ และสารละลายอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการป้องกันและกำจัดเชื้อราและสาหร่ายได้ในระยะยาว

ลักษณะการนำไปใช้

ใช้ในผลิตภัณฑ์สีน้ำ สีน้ำมัน

6. Metatin 55-71

ชื่อทางการค้า

Metatin 55-71

ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์

synergetic combination of alkyl carbamate and aryl urea derivatives

ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	external paints 0.5-3.0%, plasters 0.2-2.0%
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	ของเหลวขาวขุ่น ไม่ละลายในน้ำและสารละลายอินทรีย์สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี แต่ไม่กระจายตัวในสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว
ลักษณะการนำไปใช้	ใช้ได้ดีในการป้องกันกำจัดเชื้อราและสาหร่าย ใช้ในผลิตภัณฑ์พอกสีน้ำ ในบริเวณที่มีสภาพอากาศแปรปรวนและรุนแรง สามารถป้องกันฟิล์มสีได้อย่างคงทนถาวร

7. Cutinox 22-60

ชื่อทางการค้า	Cutinox 22-60
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์	substituted Aryl-alkylurea derivative
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	solvent based outdoor, paints or coating
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.3-2.0%
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	ครีมข้นสีเหลือง ไม่ละลายในน้ำและสารละลายอินทรีย์ สามารถกระจายตัวในสารละลายวานิชทั่วไป แต่ไม่สามารถกระจายตัวในน้ำ ใช้ในการป้องกันการเจริญของสาหร่ายบนสี
ลักษณะการนำไปใช้	ใช้ในผลิตภัณฑ์พอกสีน้ำมัน มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดสาหร่ายหลายชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม ช่วยชะลอการเกาะตัวของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนพื้นผิวที่ทาสี

8. Cutinox 22-80

ชื่อทางการค้า	Cutinox 22-80
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์	s- triazine derivatives
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	solvent based outdoor paints or coatings 0.2-1.0%
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 % (w/w)
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	ครีมข้นสีเหลือง ไม่ละลายในน้ำและสาร ละลายอินทรีย์สามารถกระจายตัวในสาร ละลายวานิชทั่วไป แต่ไม่สามารถกระจาย ตัวในน้ำ pH อยู่ในช่วง 4-10
ลักษณะการนำไปใช้	ใช้ในผลิตภัณฑ์จำพวกสีน้ำมัน เพื่อป้องกัน กำจัดสาหร่ายที่เจริญบนท้องเรือและบนพื้นผิว อาคารได้ระยะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลื้อย คลานและปราศจากสาร phenol และ chlorine รวมทั้งสารประกอบพวก organometallic

9. Polyphase AF-1 เป็น single molecule biocide

ชื่อทางการค้า	Troysan Polyphase AF-1
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาออกฤทธิ์	3- iodo- 2-propynyl butyl cabamate
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	paints 0.4-1.2%
ความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 %
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	เป็นของเหลวใส ไม่ละลายน้ำ สามารถกระจาย ตัวในน้ำได้ดี สามารถละลายในสารละลาย กลุ่มวงแหวนและในอัลกอฮอล์

ลักษณะการนำไปใช้	สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด ได้แก่ สีน้ำ สีน้ำมัน พลาสติก กระดาษ ผลิตภัณฑ์ไม้ สิ่งทอ รวมทั้งภาพเขียน
------------------	---

10. Earthtec เป็นสารเคมีที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ

ชื่อทางการค้า	Earthtec
ชื่อสารเคมีหรือตัวยาสกัดฤทธิ์	copper sulfate pentahydrate
ความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้	1 ppm metallic copper
ความเข้มข้นที่ใช้	0.01, 0.02 และ 0.05%
ลักษณะของสารและคุณสมบัติ	เป็นของเหลวสีฟ้าใส ละลายในน้ำได้ดี
ลักษณะการนำไปใช้	ใช้ในแหล่งน้ำต่าง ๆ เพื่อกำจัดแบคทีเรีย และสาหร่าย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยไนโตรเจนยังรอบขึ้นทดสอบ
ที่เตรียม algal lawn 3 วิธี

----- O N E W A Y -----

Variable	ZONE
By Variable	LAWN

Analysis of Variance

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	2	1.2667	.6333	.9072	.4074
Within Groups	87	60.7333	.6981		
Total	89	62.0000			

----- O N E W A Y -----

Multiple Range Tests: Duncan test with significance level .05

The difference between two means is significant if
 $MEAN(J) - MEAN(I) \geq .5908 * RANGE * \sqrt{1/N(I) + 1/N(J)}$
with the following value(s) for RANGE:

Step	2	3
RANGE	2.81	2.96

- No two groups are significantly different at the .050 level

Homogeneous Subsets (highest and lowest means are not significantly different)

Subset 1

Group	Grp 2	Grp 1	Grp 3
Mean	34.9000	34.9333	35.1667

ภาคผนวก ค



รายชื่อสีน้ำพลาสติก (emulsion paint) ชนิดทาภายนอกที่ใช้ทางการค้า

1. ICI
2. TOA
3. JOTON
4. SUPERCOTE
5. NEC
6. SEFCO
7. RABBIT
8. JBP
9. LOTTO
10. TORA
11. CAPTAIN
12. TEMCO
13. DENZO

