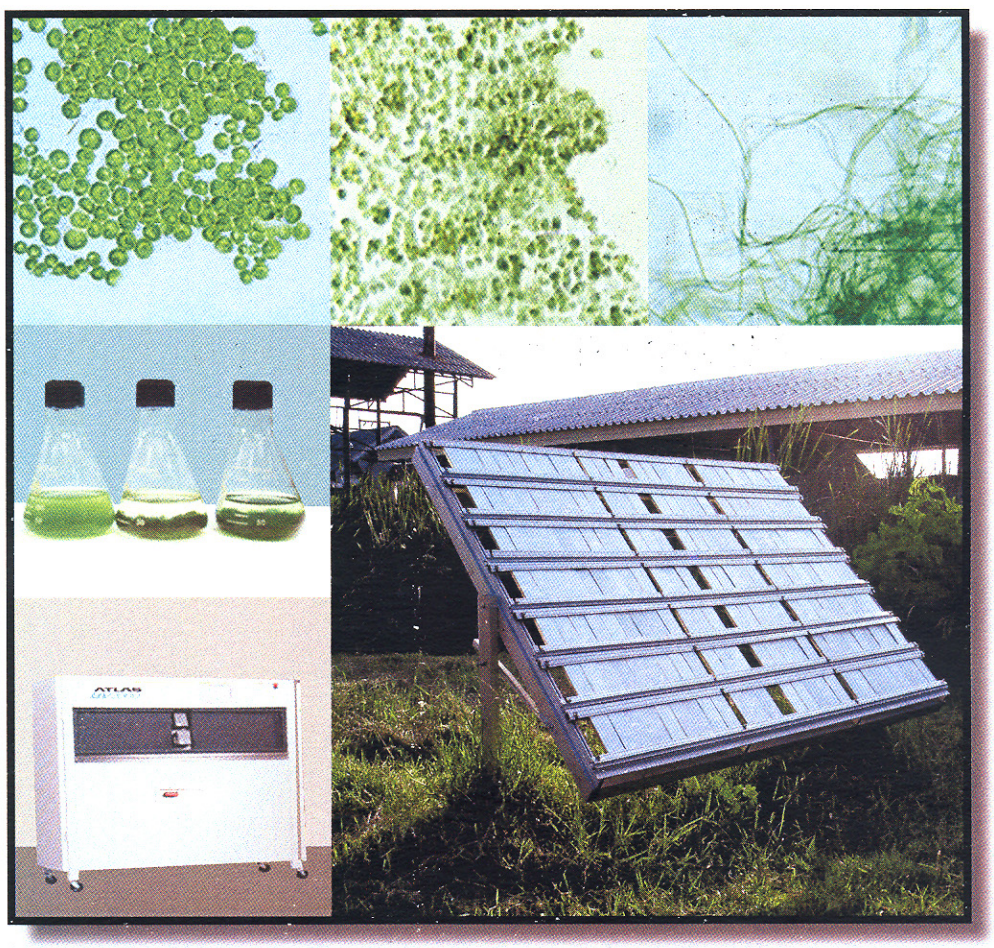
วว.TISTR

โครงการวิจัยที่ อ.-น. 48-01 / รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอก ที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ อ.-น. 48-01
การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชัน ทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)
การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชัน ทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย

โดย

อาภารัตน์ มหาขันธ์
ขอขวัญ อิศรางกูร ณ อยุธยา
แสวง เตชะงามวงศ์
ชัยพร ธีรทวีวัฒน์
มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์
อำนวย อุษณกรกุล
บัญชรีย์ มณีดิษฐ์
นฤมล วาณิชย์เจริญ

บรรณาธิการ
นฤมล รื่นไวย์
บุญเรียม น้อยชุมแพ
ศิริสุข ศรีสุข

วว., ปทุมธานี 2557
สงวนลิขสิทธิ์

ส่วนที่ 1 :
การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอก ที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบคุณศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในการสนับสนุนทุนวิจัย, ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว ดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่, บริษัท ทรอย เอเชีย จำกัด นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี, มูลนิธิพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จังหวัดเพชรบุรี, คุณกระแส ศรีขำ สวนยางพารา จังหวัดตรัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองภาคสนาม มา ณ โอกาสนี้.

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	10
3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	21
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	78
5. เอกสารอ้างอิง	81
6. ภาคผนวก	82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. ปริมาณการนำเข้าและอัตราการขยายตัวของสีทาวาร์นิช และวัตถุแต่งสี ปี พ.ศ. 2545-2549 5

ตารางที่ 2. ปริมาณการส่งออกและอัตราการขยายตัวของสีทาวาร์นิช และวัตถุแต่งสี ปี พ.ศ. 2545-2549 5

ตารางที่ 3. รายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตรายใหญ่ 7

ตารางที่ 4. ปริมาณการใช้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์สีของประเทศไทย 7

ตารางที่ 5. ตัวอย่างความแตกต่างของสายพันธุ์สาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ 8

ตารางที่ 6. สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ 12

ตารางที่ 7. ผลการคัดเลือกสารต้านสาหร่ายเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 24

ตารางที่ 8. ผลการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการ 28

ตารางที่ 9. ผลการเปรียบเทียบความเข้มแสงในระดับต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ 33

ตารางที่ 10. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มเชื้อที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ 39

ตารางที่ 11. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาของการชะล้างในน้ำไหลและน้ำนิ่งที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย 49

ตารางที่ 12. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาของความคงทนของแผ่นทดสอบเมื่อผ่านเครื่องเร่งสภาวะ 61

ตารางที่ 13. ผลการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย 70

ตารางที่ 14. ผลการเปรียบเทียบวิธีการฆ่าเชื้อที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย 74

ตารางที่ 15. สรุปผลการจัดทำวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) 80

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. ปัญหาการเสื่อมสภาพของพื้นผิวหรือฟิล์มสีของสิ่งปลูกสร้างอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย 6
รูปที่ 2. สาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย (standard strains) 10
รูปที่ 3. ตู้ควบคุมความชื้น (humidity cabinet) 12
รูปที่ 4. การแช่แผ่นทดสอบในน้ำไหล 16
รูปที่ 5. การแช่แผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง 16
รูปที่ 6. เครื่องเร่งสภาวะแผ่นทดสอบ 18
รูปที่ 7. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบ โดยวิธี Agar diffusion test 29
รูปที่ 8. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบ โดยวิธี ASTM D5589-97 30
รูปที่ 9. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบ โดยวิธีผสมผสาน 31
รูปที่ 10. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ 34
รูปที่ 11. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ 35
รูปที่ 12. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์ 36
รูปที่ 13. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบโดยวิธีผสมผสาน เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2 และ 3 สัปดาห์ 40
รูปที่ 14. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบ โดยวิธีผสมผสาน เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มเชื้อ 4 และ 8 สัปดาห์ 41
รูปที่ 15. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลและน้ำนิ่ง 50
รูปที่ 16. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 51
รูปที่ 17. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 48 ชั่วโมง 52
รูปที่ 18. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 72 ชั่วโมง 53
รูปที่ 19. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 54
รูปที่ 20. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง 55
รูปที่ 21. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง 56
รูปที่ 22. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งไม่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะ 62
รูปที่ 23. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 168 ชั่วโมง 63
รูปที่ 24. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 336 ชั่วโมง 64

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 25. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 504 ชั่วโมง 65
รูปที่ 26. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 672 ชั่วโมง 66
รูปที่ 27. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 840 ชั่วโมง 67
รูปที่ 28. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 1008 ชั่วโมง 68
รูปที่ 29. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งมีความหนาของฟิล์ม 200 ไมครอน 71
รูปที่ 30. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งมีความหนาของฟิล์ม 250 ไมครอน 72
รูปที่ 31. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ 75
รูปที่ 32. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา 76
รูปที่ 33. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำ 77

RESEARCH ON THE ESTABLISHMENT OF THAILAND STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF EXTERIOR EMULSION PAINT TO ALGAE

Aparat Mahakhant, Mayuree Tungthananuwat, Khokhwan Isarankura Na Ayudhya, Umnouy Usanakornkul, Sawang Techangamwong, Bancharee Maneedith, Chaiyaporn Teeratawewat and Narumol Vanitchareon

ABSTRACT

The objective of this study is to set up the Thailand standard test method for determining the resistance of exterior emulsion paint to algae in a laboratory. Three algicidal compounds consisting of algicides, Terbutryn, Zinc dimethyl dithiocarbamate, Zinc pyrithion at concentrations of 700, 1,500 and 2,500 ppm, respectively were selected for discovering a suitable test method in a laboratory. The paint film pads coated with algicides were tested towards 3 standard microalgal strains, *Chlorocoocum* sp.TISTR 8973, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 and *Nostoc paludosum* TISTR 8978. The results showed that the combined method (agar diffusion combined with the ASTM D 5589-97), incubated in the incubator chamber under light intensity of 2,000 lux for 4 weeks was the most suitable procedure. The test paint film pads were prepared by coating the paint with algicide prior to leaching with still water for 48 hours; no sterilization was required prior to performing the test. The research results were used as the information for Thai Industrial Standards Institute (TISI) to establish the testing standard test method for determining the resistance of exterior paint to algae in the laboratory.

การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ

อาภารัตน์ มหาขันธ์[1], มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์[1], ขอขวัญ อิศรางกูร ณ อยุธยา[2], อำนวย อุษณกรกุล[2], แสวง เตชะงามวงศ์[3], บัญชรีย์ มณีดิษฐ์[4], ชัยพร ธีรทวีวัฒน์[5] และนฤมล วาณิชย์เจริญ[6]

บทคัดย่อ

ทำการวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่าย (ตะไคร่น้ำ, algae) สำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารต้านสาหร่ายเป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบจำนวน 3 ชนิด คือ 1) Terbutryn ที่ความเข้มข้น 700 ppm 2) Zinc dimethyl dithiocarbamate ที่ความเข้มข้น 1,500 ppm และ 3) Zinc pyrithion ที่ความเข้มข้น 2,500 ppm ทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐาน 3 สายพันธุ์ คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 และ *Nostoc paludosum* TISTR 8978 เพื่อให้ได้วิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ. ผลการทดลองพบว่า วิธีผสมผสาน (agar diffusion ร่วมกับ ASTM D 5589-97) และบ่มเชื้อทดสอบภายใต้ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เป็นวิธีทดสอบที่เหมาะสมที่สุด. ส่วนการเตรียมแผ่นทดสอบ ทำได้โดยเคลือบสีผสมสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบและนำไปผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง โดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำไปทดสอบ. จากผลการวิจัยดังกล่าว สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้นำมาใช้ในการจัดทำวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว.

---

[1]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[2]บริษัท ทรอย เอเชีย จำกัด
[3]บริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด
[4]บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ จำกัด
[5]บริษัท สีเดลต้า จำกัด
[6]สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

RESEARCH ON THE ESTABLISHMENT OF THAILAND STANDARD TEST METHOD FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF EXTERIOR EMULSION PAINT TO ALGAE

Aparat Mahakhant, Mayuree Tungthananuwat, Khokhwan Isarankura Na Ayudhya, Umnouy Usanakornkul, Sawang Techangamwong, Bancharee Maneedith, Chaiyaporn Teeratawewat and Narumol Vanitchareon

ABSTRACT

The objective of this study is to set up the Thailand standard test method for determining the resistance of exterior emulsion paint to algae in a laboratory. Three algicidal compounds consisting of algicides, Terbutryn, Zinc dimethyl dithiocarbamate, Zinc pyrithion at concentrations of 700, 1,500 and 2,500 ppm, respectively were selected for discovering a suitable test method in a laboratory. The paint film pads coated with algicides were tested towards 3 standard microalgal strains, *Chlorocoocum* sp.TISTR 8973, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 and *Nostoc paludosum* TISTR 8978. The results showed that the combined method (agar diffusion combined with the ASTM D 5589-97), incubated in the incubator chamber under light intensity of 2,000 lux for 4 weeks was the most suitable procedure. The test paint film pads were prepared by coating the paint with algicide prior to leaching with still water for 48 hours; no sterilization was required prior to performing the test. The research results were used as the information for Thai Industrial Standards Institute (TISI) to establish the testing standard test method for determining the resistance of exterior paint to algae in the laboratory.

การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ

อาภารัตน์ มหาขันธ์[1], มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์[1], ขอขวัญ อิศรางกูร ณ อยุธยา[2], อำนวย อุษณกรกุล[2], แสวง เตชะงามวงศ์[3], บัญชรีย์ มณีดิษฐ์[4], ชัยพร ธีรทวีวัฒน์[5] และนฤมล วาณิชย์เจริญ[6]

บทคัดย่อ

ทำการวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่าย (ตะไคร่น้ำ, algae) สำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารต้านสาหร่ายเป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบจำนวน 3 ชนิด คือ 1) Terbutryn ที่ความเข้มข้น 700 ppm 2) Zinc dimethyl dithiocarbamate ที่ความเข้มข้น 1,500 ppm และ 3) Zinc pyrithion ที่ความเข้มข้น 2,500 ppm ทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐาน 3 สายพันธุ์ คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 และ *Nostoc paludosum* TISTR 8978 เพื่อให้ได้วิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ. ผลการทดลอง พบว่า วิธีผสมผสาน (agar diffusion ร่วมกับ ASTM D 5589-97) และบ่มเชื้อทดสอบภายใต้ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เป็นวิธีทดสอบที่เหมาะสมที่สุด. ส่วนการเตรียมแผ่นทดสอบ ทำได้โดยเคลือบสีผสมสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบและนำไปผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง โดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำไปทดสอบ. จากผลการวิจัยดังกล่าว สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้นำมาใช้ในการจัดทำวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว.

---

[1]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[2]บริษัท ทรอย เอเชีย จำกัด
[3]บริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด
[4]บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ จำกัด
[5]บริษัท สีเดลต้า จำกัด
[6]สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

1. บทนำ

ในปัจจุบันจะเห็นว่าเมืองใหญ่หลายแห่งในแต่ละภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร, เชียงใหม่, ภูเก็ต ฯลฯ มีการก่อสร้างอาคารสูงเป็นจำนวนมาก และพบว่า อาคารหลายแห่งทั้งที่สร้างใหม่และสร้างมานานแล้ว กำลังประสบกับปัญหาการเสื่อมสภาพของฟิล์มสีหรือพื้นผิวภายนอกของอาคารอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย ในความเป็นจริงปัญหาการเสื่อมสภาพของพื้นผิวเนื่องมาจากสาหร่ายนี้ ได้เกิดขึ้นกับโบราณสถาน, โบราณวัตถุที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมาเป็นเวลานานแล้ว แต่เรายังไม่เห็นความสำคัญของปัญหานี้มากนัก เพราะเป็นสิ่งที่อยู่ไกลตัว.

สาหร่าย (ประชาชนทั่วไป เรียกว่า “ตะไคร่”) จัดเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพทางชีวภาพ ที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่ง ทั้งนี้ เนื่องจากสาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างกรดอินทรีย์กัดกร่อนพื้นผิวและสีที่ทาภายนอก รวมทั้งมีการทำลายฟิล์มสี โดยในขณะที่พื้นผิวบริเวณที่มีสาหร่ายเจริญอยู่แห้งลง ก่อให้เกิดการหดตัวและการหลุดร่อนของฟิล์มสีทำให้สภาพพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อกลุ่มเซลล์ของสาหร่ายแห้งหรือตายจะปรากฏให้เห็นเป็นแนวหรือคราบสีน้ำตาลดำ เกิดความน่ารังเกียจ และคนทั่วไปมักเข้าใจผิดคิดว่าเป็นเชื้อรา ในบางสภาวะสาหร่ายอาจอยู่ในรูปสปอร์ ทำให้มีการฟุ้งกระจายไปในอากาศ การสร้างกลุ่มเซลล์ของสาหร่ายทำให้ขัดขวางการไหลของน้ำเกิดการกักเก็บน้ำบนพื้นผิว เป็นผลให้เกิดความชื้นสะสมบนพื้นผิวอาคาร และยังชักนำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของพืชชั้นสูงขึ้นตามลำดับต่อไป (succession) ได้แก่ ไลเคนส์, มอส, เฟิร์น จนถึงพืชชั้นสูงที่สร้างเมล็ด ซึ่งพืชในกลุ่มต่างๆ ที่กล่าวมาจะมีบทบาทต่อการกัดกร่อนทางเคมีและกายภาพของพื้นผิวและวัสดุก่อสร้างอย่างรุนแรงในเวลาต่อมา (Sripleng 1995) ดังแสดงในรูปที่ 1.

โดยที่สาหร่ายเหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้บนพื้นผิวเปียกชื้นที่ได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ การเกาะของสาหร่ายบนพื้นผิวจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยในประเทศสหราชอาณาจักร, ทวีปยุโรป และอเมริกา และมีการศึกษาถึงปัญหานี้มานานกว่า 45 ปีแล้ว อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นกับประเทศในเขตอบอุ่นและเขตหนาวมีความรุนแรงไม่มากเท่ากับในเขตร้อน เนื่องจากในเขตร้อนสภาพแวดล้อมที่ร้อนและชื้น จุลินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งสาหร่ายสามารถเจริญได้อย่างมากมายและรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัด ดังจะเห็นได้จากประเทศในแถบเอเชีย เช่น อินเดีย, ศรีลังกา, มาเลเซีย, อินโดนีเซีย, สิงคโปร์ และไทย ได้ศึกษาถึงปัญหานี้แต่ส่วนใหญ่จะจำกัดอยู่เฉพาะโบราณสถานและโบราณวัตถุเท่านั้น ในประเทศอินเดียมีการศึกษาถึงการควบคุมการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิวของโบราณสถาน ขณะที่บางประเทศ เช่น สิงคโปร์ได้ให้ความสำคัญต่อปัญหาที่เกิดกับตัวอาคารบ้านเรือน เนื่องจากสภาพเป็นเกาะขนาดเล็กที่มีตึกระฟ้าจำนวนมากได้รับผลกระทบจากการเจริญของสาหร่ายบนพื้นผิวอาคารสูงอย่างรุนแรง (Wee and Lee 1980).

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าวข้างต้น หลายประเทศทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา, กลุ่มประเทศประชาคมยุโรป (EU) ตลอดจนประเทศในเอเชีย เช่น สิงคโปร์ และจีน ได้ให้ความสำคัญกับปัญหานี้ จึงมีการศึกษาวิจัยตั้งแต่สำรวจสายพันธุ์สาหร่ายที่ก่อให้เกิดปัญหาในประเทศตนเอง พร้อมทั้งกำหนดวิธีการทดสอบมาตรฐานถึงความทนทานของฟิล์มสีต่อสายพันธุ์สาหร่ายตัวอย่าง เช่น Singapore Institute of Standard and Industrial Research (SISIR) ได้ทำการสำรวจสาหร่ายที่ขึ้นบนพื้นผิวอาคารบ้านเรือนทั่วทั้งเกาะ และกำหนดให้สาหร่ายสีเขียว *Trentepohlia odorata* เพียงสายพันธุ์เดียวเป็นสายพันธุ์มาตรฐานสำหรับทดสอบความทนทานของสีพบว่า สาหร่ายสกุลนี้ (*Trentepohlia*) เป็นสกุลหลัก และชนิดนี้ (*odorata*) เป็นชนิดเด่น (dominance species) ที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างกว้างขวางทั่วทั้งเกาะสิงคโปร์ (Singapore Institute of Standards 1990).

ในส่วนประเทศไทยที่ผ่านมา มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีวาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้องเฉพาะในเรื่องของความทนทานต่อเชื้อราเท่านั้น (มาตรฐานเลขที่ มอก. 285 เล่ม 21-2525) ทั้งๆ ที่ประเทศไทยเองอยู่ในเขตร้อนชื้น, มีแสงสว่างตลอดปี และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นอย่างมาก เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์สีให้สามารถแข่งขันได้ทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ และเพื่อการเตรียมพร้อมต่อการแข่งขันในการเข้าสู่ระบบเขตการค้าเสรีอาเซียน ซึ่งในปัจจุบันสีทาอาคารทั้งที่ผลิตจำหน่ายในประเทศและส่งออกมีมูลค่าตลาดกว่า 10,000 ล้านบาทต่อปี (อือนอก 2546) ในขณะเดียวกันปริมาณ/มูลค่าการนำเข้าและส่งออกของสี และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ร่วมกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 โดยมีรายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตรายใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 3 ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่อยู่อาศัยของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ บริษัทผลิตสีบางแห่งจึงทำการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยเติมสารออกฤทธิ์ต้านสาหร่ายลงในผลิตภัณฑ์สี รวมทั้งมีการโฆษณา “ผลิตภัณฑ์สีป้องกันตะไคร่” การแข่งขันทำให้มีปริมาณการนำเข้าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะสารต้านสาหร่ายสูงขึ้นกว่า 5 เท่า ภายในเวลาประมาณ 5 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4 อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยขาดการให้ความสำคัญในปัญหานี้ ทำให้บริษัทอุตสาหกรรมผลิตสีของเราต้องส่งตัวอย่างสีสูตรต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นไปทำการวิเคราะห์ในต่างประเทศ เช่น สิงคโปร์ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก (กว่า 10,000 บาท/ตัวอย่าง) รวมทั้งเสียเวลานานในกระบวนการต่างๆ เช่น การส่งตัวอย่าง ที่สำคัญที่สุด คือ สายพันธุ์สาหร่ายที่ใช้ทดสอบไม่ใช่สายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาในบ้านเรา (ในประเทศไทยอาจพบสายพันธุ์ *Trentepohlia* ได้เฉพาะบางจังหวัดแถบชายทะเล เช่น ตราด และปัตตานี) ดังแสดงในตารางที่ 5 ทำให้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคไม่สามารถมั่นใจได้ว่า ผลิตภัณฑ์สีที่มีราคาสูงขึ้นเนื่องจากมีการเติมสารต้านสาหร่าย จะมีคุณภาพเหมาะสมกับราคาหรือไม่ อุปสรรคดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นข้อจำกัดของบริษัทอุตสาหกรรมสีของไทย รวมถึงผู้ผลิตและผู้นำเข้าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตที่ดีให้กับผู้บริโภคภายในประเทศและเพื่อการแข่งขันในตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ ซึ่งจะทวีความรุนแรงขึ้นเนื่องมาจากการเปิดเสรีทางการค้า.

ตารางที่ 1. ปริมาณการนำเข้าและอัตราการขยายตัวของสีทาวาร์นิช และวัตถุแต่งสี พ.ศ. 2545-2549

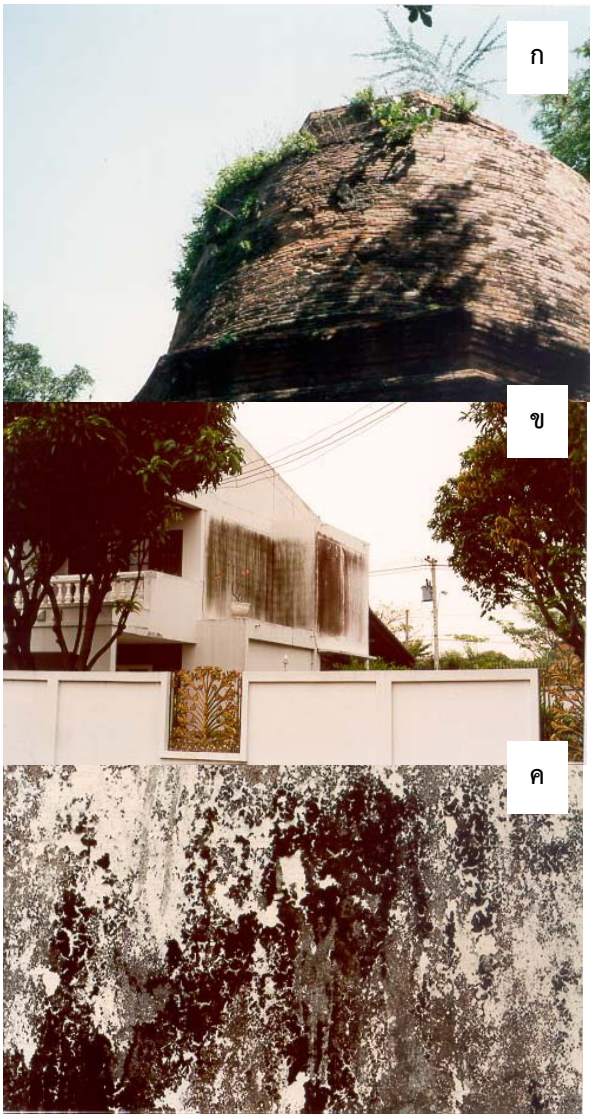
ปี	การนำเข้า		อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	
2545	163,168	19,806.2	-
2546	225,012	21,418.2	8.1
2547	229,396	24,133.5	12.7
2548	199,955	24,519.9	1.6
2549 (ม.ค.-พ.ย.)	184,761	22,771.7	-7.1

ที่มา : กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ (http://www.ops2.moc.go.th/trade/trade_exp.html)

ตารางที่ 2. ปริมาณการส่งออกและอัตราการขยายตัวของสีทาวาร์นิช และวัตถุแต่งสี พ.ศ. 2545-2549

ปี	การส่งออก		อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	
2545	26,408	2,086.6	-
2546	28,526	2,447.9	17.3
2547	34,627	2,948.9	20.5
2548	39,914	3,815.7	29.4
2549 (ม.ค.-พ.ย.)	40,737	3,915.2	13.2

ที่มา : กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ (http://www.ops2.moc.go.th/trade/trade_exp.html)



รูปที่ 1. ปัญหาการเสื่อมสภาพของพื้นผิวหรือฟิล์มสีของสิ่งปลูกสร้าง อันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

ก. เจดีย์วัดใหญ่ชัยมงคล อยุธยา ที่พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายชักนำให้เกิดการเจริญและพัฒนาของพืชชั้นสูงขึ้นตามลำดับ (succession)

ข. การเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวอาคารด้านที่มีความชื้นและได้รับแสง ก่อให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ชวนมอง และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทาสีซ้ำบ่อยๆ

ค. การหดตัวและหลุดร่อนของฟิล์มสี เนื่องมาจากสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนผิวแห้งลง

ตารางที่ 3. รายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตรายใหญ่

ผู้ผลิต	ประเภทสี	กำลังการผลิต (ตัน)
1. บริษัท ทีโอเอเพ้นท์ จำกัด	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน	150,000
2. บริษัท นิปปอนเพ้นท์ จำกัด	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน, สีฝุ่น	46,000
3. บริษัท สีไทยกันไซเพ้นท์ จำกัด	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน	42,000
4. บริษัท ไอซีไอ (ประเทศไทย) จำกัด	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน	35,500
5. บริษัท โจตันไทย จำกัด	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน	27,500
6. อื่นๆ	สีน้ำพลาสติก, สีน้ำมัน, สีฝุ่น	29,000
รวม		330,000

ที่มา : จากการสอบถามผู้ผลิตและฝ่ายสินเชื่อโครงการ บริษัท เงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 4. ปริมาณการใช้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์สีของประเทศไทย

ปี	สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ[1] (กิโลกรัม/ปี)		
	สารกันเสียภายในกระป๋อง[2] (in can biocide)	สารต้านจุลินทรีย์บนฟิล์มสี[3] (on film biocide)	
		รา	สาหร่าย
2537	32,340	54,978	-
2538	42,038	71,465	-
2539	37,833	164,316	-
2540	50,445	185,760	7,569
2541	65,579	211,484	9,840
2542	85,252	244,930	12,800
2543	106,565	281,161	15,990
2544	127,878	317,400	19,190
2545	153,454	360,872	23,025
2546[4]	254,040	441,060	38,940

หมายเหตุ : [1]กรมศุลกากรและผู้จำหน่าย
[2]ออกฤทธิ์ป้องกันการบูดเน่าของสีที่บรรจุภายในกระป๋องก่อนการเปิดใช้
[3]ออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์บนแผ่นฟิล์มสีภายหลังการทา
[4]เฉพาะไตรมาสแรกของปี

ตารางที่ 5. ตัวอย่างความแตกต่างของสายพันธุ์สาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ

วิธีทดสอบ	สาหร่าย
Acima Chemical Industries Ltd. (สวิตเซอร์แลนด์)[1]	Ulotrichaceae และ *Chlorococcum* sp.
Schülke & Mayr (เยอรมัน)[1]	*Chlorella fusca* และสายพันธุ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
American Society for Testing and Material (ASTM Standard)[2]	เลือกอย่างน้อย 1 สายพันธุ์จากแต่ละกลุ่ม สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว : *Chlorella* sp. ATCC 7516, *Chlorella vulgaris* ATCC 11468 สาหร่ายสีเขียวที่เป็นเส้นสาย : *Ulothrix gigas* ATCC 30443, *Trentepohlia aurea* UTEX 429, *Trentepohlia odorata* CCAP 483/4 สาหร่ายสีเขียวที่เป็นกลุ่มเซลล์ : *Scenedesmus quadricauda* ATCC 11460 สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่เป็นเส้นสาย : *Oscillatoria* sp. ATCC 29135, *Calothrix* sp. ATCC 27914
Singapore Productivity and Standards Broad (Singapore Standard)[3]	*Trentepohlia odorata*

หมายเหตุ : [1]ติดต่อส่วนบุคคล
[2]ASTM 1997
[3]Singapore Institute of Standard 1990

ด้วยเล็งเห็นความสำคัญของการแก้ปัญหา และเพื่อเป็นการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมสี และคุณภาพผลิตภัณฑ์สีของไทยให้สามารถแข่งขันได้ รวมทั้งยกระดับคุณภาพชีวิตของคนไทยในแง่ของการใช้ผลิตภัณฑ์สีที่มีคุณภาพดี, สามารถทนทานต่อสาหร่าย ทำให้ประหยัดเงินตราในการซ่อมแซมพื้นผิวอาคารบ้านเรือน และทาสีซ้ำ ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) เดิม ปัจจุบันฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จึงได้ทำการศึกษาปัญหาเบื้องต้นนี้ โดยเริ่มจากการสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่เจริญเติบโตและก่อให้เกิดปัญหาบนพื้นผิวอาคารบ้านเรือน, โบราณสถาน และโบราณวัตถุ ในพื้นที่ภาคกลาง (กรุงเทพฯ, นครปฐม, สุพรรณบุรี, ลพบุรี และพระนครศรีอยุธยา), ภาคเหนือ (สุโขทัย) และภาคใต้ (สุราษฎร์ธานี, ภูเก็ต, พังงา, พัทลุง และยะลา) รวม 100 ตัวอย่าง แล้วจึงนำตัวอย่างที่ได้มาทำการแยก และจัดจำแนกเพื่อหาสกุลที่มีความถี่สูงในการก่อปัญหา เพื่อใช้เป็นสายพันธุ์มาตรฐานของประเทศไทย โดยกลุ่มของสายพันธุ์ที่พบว่า มีความถี่ในการก่อให้เกิดปัญหาสูงมากกว่า ร้อยละ 40 ของตัวอย่างสำรวจ (100 ตัวอย่าง) ได้แก่ สาหร่ายในสกุล *Phormidium* (พบร้อยละ 76), *Nostoc* (พบร้อยละ 44) และ *Chlorococcum* (พบร้อยละ 41) เมื่อนำสายพันธุ์มาตรฐานของไทยมาทดสอบเปรียบเทียบกับสายพันธุ์มาตรฐานของยุโรป และสหรัฐอเมริกา พบว่า สายพันธุ์ไทยมีความทนทานต่อสารต้านสาหร่าย

มากกว่า (ทัดแก้ว และคณะ 2539) ผลการทดสอบนี้จึงเป็นสิ่งยืนยันได้เป็นอย่างดีว่า นอกจากการคัดเลือกสายพันธุ์ทดสอบมาตรฐานจากสายพันธุ์ท้องถิ่นแล้ว ประเทศไทยควรพัฒนาวิธีทดสอบมาตรฐานของตนเอง เพราะผลิตภัณฑ์สีที่ผ่านการทดสอบโดยใช้สาหร่ายสายพันธุ์ไทยกับวิธีการทดสอบที่เหมาะสมย่อมทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการป้องกันหรือควบคุมปัญหาได้ดีกว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย รวมถึงการพัฒนาเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์สีสู่ประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่มีสภาพภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน โดยใน พ.ศ. 2549 ประเทศไทยส่งออกสี 40,737 ตัน คิดเป็นมูลค่าถึงกว่า 3,915 ล้านบาท (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ 2549) ซึ่งประเทศที่เป็นคู่ค้าสำคัญ ได้แก่ เวียดนาม, กัมพูชา และมาเลเซีย เป็นต้น.

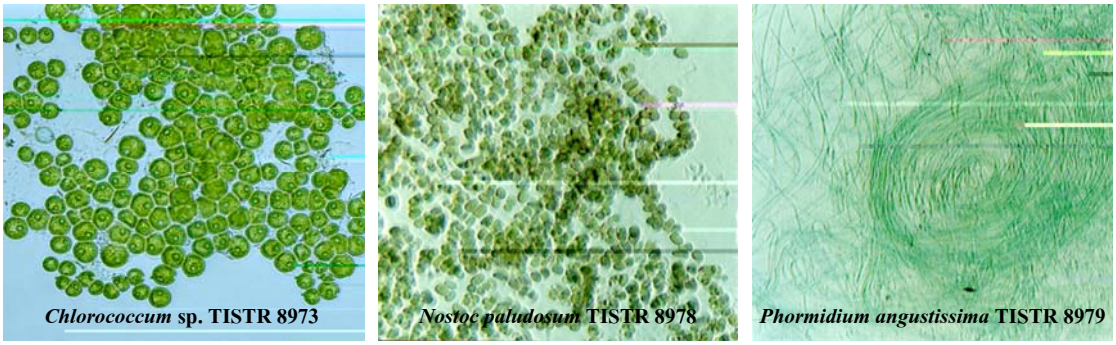
จากเหตุผลและความสำคัญดังกล่าวข้างต้น การดำเนินงานของโครงการนี้ในส่วนที่ 1 จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย โดยมีเป้าหมายที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ได้วิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย สำหรับใช้ในการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์สี โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)
2. ยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์สีที่ผลิตในประเทศไทยสู่ระดับสากล เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งในปัจจุบันมูลค่าการตลาดของผลิตภัณฑ์ของไทยทั้งในและต่างประเทศรวมกว่าหมื่นล้านบาทต่อปี
3. ลดค่าใช้จ่ายสำหรับบริษัทผู้ผลิตสี และบริษัทผู้ผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biocide) ในการส่งตัวอย่างไปทดสอบในต่างประเทศ ปีละประมาณ 10-15 ล้านบาทต่อปี

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 การเตรียมสาหร่ายทดสอบ

นำสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย ซึ่งเก็บรักษา ณ คลังสาหร่าย ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) เดิม ปัจจุบันฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 3 สายพันธุ์ที่พบว่ามีความถี่ในการก่อให้เกิดปัญหาสูง คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 ดังแสดงในรูปที่ 2 มากระตุ้นการเจริญเติบโตในอาหารเหลวสูตร BG-11 (Stainer *et al.* 1971) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร บรรจุขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ตั้งบนเครื่องเขย่าความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสงประมาณ 2,000 ลักซ์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์.



รูปที่ 2. สาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย (standard strains).

นำสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ ซึ่งกระตุ้นให้อยู่ในช่วงเจริญเติบโตเต็มที่มาใช้ในการทดสอบ กรณีที่เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว *Chlorococcum* sp. TISTR 8973 นำไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 1,000 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโตโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer, Hewlett Packard รุ่น 8453) ให้มีค่าการดูดกลืนแสง 0.5 ส่วนสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย คือ *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 นำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ (tissue glider, Wheaton) ก่อนนำสาหร่ายไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ ที่ความยาวคลื่น 1,000 นาโนเมตร ให้มีค่าการดูดกลืนแสง 0.5 จากนั้น นำสาหร่ายที่ได้แต่ละสายพันธุ์ในปริมาตรที่เท่ากันมาผสมรวมกันในรูปเซลล์แขวนลอยก่อนนำไปใช้ในการทดสอบ.

2.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ

เตรียมแผ่นทดสอบในรูปฟิล์มสี โดยนำสีที่ไม่มีส่วนผสมของสารเคมีซึ่งเป็นชุดควบคุม (control) และสีที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่ายมาเคลือบลงบนแผ่นกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) ที่วางบนกระจกแผ่นเรียบ โดยใช้เครื่องทำฟิล์ม (bird film applicator, Beaive Instrument

ขนาดช่อง 100 ไมโครเมตร) เคลือบสี (1 ด้าน) โดยเร็วและวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ทาสีซ้ำด้านเดิมอีก 1 ครั้ง (เป็นการเลียนแบบการทาสีจริง ซึ่งจะมีการทาอย่างน้อย 2 ครั้ง) เพื่อให้ได้ฟิล์มเรียบหนา 200 ไมโครเมตร เท่ากันทุกแผ่น และวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ก่อนนำไปใช้ในการทดสอบ

2.3 การทดสอบเพื่อประเมินวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

2.3.1 การทดสอบเพื่อคัดเลือกสารต้านสาหร่ายที่ใช้เป็นตัวแทนในห้องปฏิบัติการ

ทำการคัดเลือกสารต้านสาหร่ายชนิดที่นิยมใช้ในท้องตลาดจำนวน 8 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาผ่านการชะล้างและการฆ่าเชื้อ โดยการชะล้างแผ่นทดสอบ แบ่งเป็น 3 วิธี คือ 1) ไม่ผ่านการชะล้าง 2) ผ่านการชะล้างโดยการแช่ในน้ำนิ่ง 24 ชั่วโมง และ 3) ผ่านการชะล้างโดยการแช่ในสารละลายเบส $Ca(OH)_2$ อิ่มตัว 24 ชั่วโมงและในน้ำนิ่ง 24 ชั่วโมง จากนั้น ตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และนำมาศึกษาผลของการฆ่าเชื้อ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ 1) ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และ 2) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมาที่ 35 กิโลเกรย์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบที่ได้มาทดสอบด้วยวิธีการผสมผสานระหว่าง วิธี agar diffusion ร่วมกับ ASTM D 5589-97 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ รวมทั้งความคงทนของสารต้านสาหร่ายต่อการชะล้าง โดยใช้อาหารวุ้นสูตร BG-11 ดังแสดงในภาคผนวก 1 ทำการทดสอบภายใต้สภาวะที่เป็นค่ากลาง โดยนำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 28$\pm$2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ และตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย โดยประเมินจากขนาดของการเกิดโซนใสซึ่งเกิดจากการที่สาหร่ายถูกยับยั้งการเจริญเติบโตโดยสารต้านสาหร่ายรอบแผ่นทดสอบ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ครอบคลุมบนพื้นที่ผิวของแผ่นทดสอบ โดยคิดเป็นร้อยละของพื้นที่ผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) ตามเกณฑ์วัดผลของวิธี agar diffusion และวิธี ASTM D 5589-97 (ข้อ 2.3.2.1 และ 2.3.2.2) ตามลำดับ.

ตารางที่ 6. สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก 2

ตัวอย่าง	สารเคมี	ความเข้มข้นที่ใช้[1] (ppm)
algicide A	47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion	700, 1,400
algicide B	45 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon dispersion	675, 1,350, 2,700
algicide C	40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon : Cybutryn dispersion	600, 1,200, 2,400
algicide D	100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate	750, 1,500, 3,000, 6,000
algicide E	5 เปอร์เซ็นต์ Carbendazim : 45 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate	675, 1,350, 2,025, 2,700
algicide F	47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn : 40 เปอร์เซ็นต์ Cybutryn	650, 1,300, 1,950, 2,600
algicide G	43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion	4,300
algicide H	50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion	2,500, 5,000, 7,500, 10,000

หมายเหตุ : [1]ความเข้มข้นจริงของสารต้านสาหร่ายที่ใช้ผสมในสีแล้วทาลงบนแผ่นทดสอบ

รูปที่ 3. ตู้ควบคุมความชื้น (humidity cabinet).

2.3.2 การทดสอบเพื่อประเมินวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.1 มาทดสอบเพื่อประเมินวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมฟิล์มสี 2 ระดับคุณภาพ คือ ฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) และฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) โดยฟิล์มสีชั้นคุณภาพเป็นฟิล์มสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของผงสีน้อย (สัดส่วนต่ำกว่า) แต่มีปริมาณสารยึด (binder) มาก (สัดส่วนสูงกว่า) ทำให้ฟิล์มสีมีความหนาแน่นสูง, รูพรุนน้อย ทำให้กักเก็บสารต้านสาหร่ายได้ดีจึงมีความคงทนต่อการชะล้างด้วยน้ำได้ดีกว่าฟิล์มสีชั้นทั่วไป ซึ่งมีความเข้มข้นของปริมาณผงสีมาก แต่มีปริมาณสารยึดน้อย ฟิล์มสีจึงมีความหนาแน่นต่ำ, รูพรุนมาก ทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะล้างด้วยน้ำได้ง่าย จากนั้น นำฟิล์มสีทั้ง 2 ชั้นคุณภาพมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐาน 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 3 วิธีการ คือ 1) วิธี agar diffusion 2) วิธี ASTM D 5589-97 3)

วิธีผสมผสาน (combination method) ระหว่าง agar diffusion และ ASTM D 5589-97 โดยทั้ง 3 วิธีการนี้ใช้อาหารวุ้นสูตร BG-11 (Stainer *et al.* 1971) ในการทดสอบ.

2.3.2.1 วิธี agar diffusion (Wright 1975)

การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย โดยวิธี agar diffusion เป็นการศึกษาความคงทนของสารต้านสาหร่ายต่อการถูกชะล้าง เนื่องจากมาตรฐานที่จะจัดทำเป็นมาตรฐานสำหรับสีทาภายนอกที่ต้องคำนึงถึงการถูกชะล้างโดยน้ำฝนหรือความชื้น ขนาดของโซนใสที่เกิดขึ้นจะบ่งบอกถึงความสามารถในการแพร่ซึ่งหมายถึงความยากง่ายในการถูกชะออกจากแผ่นทดสอบ ซึ่งจะเป็นสิ่งที่สะท้อนถึงอายุการใช้งานของสี วิธี agar diffusion มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้ นำอาหารวุ้นเลี้ยงสาหร่ายที่นึ่งฆ่าเชื้อ แล้วมาวางไว้ให้เย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมสาหร่ายทดสอบที่เตรียมไว้ลงไป (หัวเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์) ผสมเข้ากันอย่างรวดเร็ว เทลงจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้อาหารวุ้นแข็งตัว จากนั้น วางแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลาง แล้วนำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ.

เมื่อครบกำหนดเวลาการบ่มเชื้อ ให้วัดประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย โดยการวัดขนาดความกว้างของโซนใสรอบแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นบริเวณที่สาหร่ายถูกยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibition zone) ด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์.

2.3.2.2 วิธี ASTM D 5589-97 (ASTM 1997)

การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย โดยวิธี ASTM D 5589-97 เป็นวิธีมาตรฐานเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบของ American Society for Testing and Material (1997) มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้ นำอาหารวุ้นเลี้ยงสาหร่ายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วมาวางไว้ให้เย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เทลงจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้อาหารวุ้นแข็งตัว จากนั้น วางแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลางและหยดสาหร่ายที่เตรียมไว้ (ข้อ 2.1) ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นทดสอบ (ข้อ 2.2) เกลี่ยให้ทั่วแผ่นทดสอบ แล้วนำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ.

เมื่อครบกำหนดเวลาการบ่มเชื้อ ให้สังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ครอบคลุมพื้นที่ผิวของแผ่นทดสอบ โดยคิดเป็นร้อยละของพื้นที่ผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) ด้วยสายตา โดยมีการให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญเติบโต
1 = เจริญเติบโตได้น้อยมาก (< 10 เปอร์เซ็นต์)
2 = เจริญเติบโตเล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)
3 = เจริญเติบโตปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์)
4 = เจริญเติบโตได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)

2.3.2.3 วิธีผสมผสาน (combination method)

การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย โดยวิธี agar diffusion ร่วมกับ ASTM D 5589-97 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ รวมทั้งความคงทนของสารต้านสาหร่ายต่อการชะล้าง มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้ นำอาหารวุ้นเลี้ยงสาหร่ายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วมาวางไว้ให้เย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมสาหร่ายทดสอบที่เตรียมไว้ลงไป (หัวเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์) ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็ว เทลงจานเลี้ยงเชื้อ วางทิ้งไว้ให้อาหารวุ้นแข็งตัว จากนั้น วางแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลางและหยดสาหร่ายที่ผสมรวมกันลงบนแผ่นทดสอบปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร เกลี่ยให้ทั่วแผ่นทดสอบ แล้วนำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28$\pm$2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ ตรวจสอบผลการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยดูจากขนาดของโซนใสรอบแผ่นทดสอบและการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบตามเกณฑ์วัดผลของวิธี agar diffusion และวิธี ASTM D 5589-97 (ข้อ 2.3.2.1 และ 2.3.2.2).

2.3.3 การศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 เพื่อทำการศึกษาระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ แบ่งการทดสอบเป็น 3 ระดับ คือ 2,000, 4,000 และ 6,000 ลักซ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

2.3.4 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 เพื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มเชื้อทดสอบ แบ่งการทดสอบเป็น 4 ระยะเวลา คือ 2, 3, 4 และ 8 สัปดาห์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

2.3.5 การศึกษาสภาพทางกายภาพที่ใช้ร่วมกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2.3.5.1 การชะล้างแผ่นทดสอบ เพื่อศึกษาความคงทนของสารต้านสาหร่ายต่อการชะล้างด้วยน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหลกับในน้ำนิ่ง มีขั้นตอน ดังนี้

2.3.5.1.1 การชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหล

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 มาทำการชะล้างในน้ำไหล โดยแช่แผ่นทดสอบไว้ในภาชนะบรรจุน้ำ ปริมาตร 1 ลิตร ให้น้ำท่วมทั่วผิวหน้าแผ่นทดสอบ ปล่อยน้ำกลั่นให้ไหลลงสู่ก้นภาชนะในอัตรา 6 เท่าของปริมาตรภาชนะต่อ 24 ชั่วโมง ตามที่กำหนดใน ASTM D 5589-97 ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 ระยะ คือ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ. จากนั้น นำแผ่นทดสอบออก วางผึ่งลมไว้ให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร นำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย ด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการที่ได้จากข้อ 2.3.2 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

2.3.5.1.2 การชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 มาทำการชะล้างในน้ำนิ่ง โดยการแช่แผ่นทดสอบไว้ในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร ให้น้ำท่วมทั่วผิวหน้าแผ่นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5 แบ่งการทดสอบเป็น 3 ระยะ คือ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ (เปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง). จากนั้น นำแผ่นทดสอบออก วางผึ่งลมไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร นำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการที่ได้จากข้อ 2.3.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

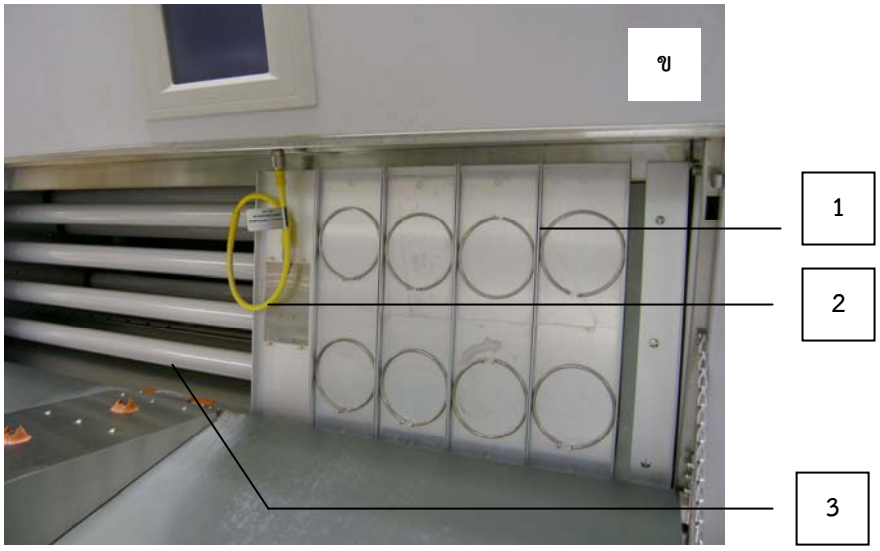
รูปที่ 4. การแช่แผ่นทดสอบในน้ำไหล.

ประกอบด้วย 1) ปั๊มรีด (peristatic pump) สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ได้เท่ากับ 6 เท่าของปริมาตรภาชนะต่อ 24 ชั่วโมง 2) แผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่าย

รูปที่ 5. การแช่แผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง.

2.3.5.2 การทดสอบระยะเวลาของความคงทนต่อการเร่งสภาวะ

ทำการศึกษาความคงทนของสารต้านสาหร่ายเมื่อผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ โดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 วางในเครื่องเร่งสภาวะ ดังแสดงในรูปที่ 6 ตามที่กำหนดใน ASTM G154 ซึ่งมีภาวะวงจร รับแสงยูวี 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สลับกับการควบแน่นด้วยไอน้ำ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการทดสอบเป็น 6 ระยะ คือ 168, 336, 504, 672, 840 และ 1,008 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำแผ่นทดสอบมาวางผึ่งลมให้แห้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร นำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ.



รูปที่ 6. เครื่องเร่งสภาวะแผ่นทดสอบ.

ก. ลักษณะภายนอกของเครื่องเร่งสภาวะ QUV รุ่น UV2000™

ข. ลักษณะภายในที่ประกอบด้วย 1) แผ่นโลหะอะลูมิเนียมสำหรับใส่ชิ้นทดสอบ 2) ตัวควบคุมอุณหภูมิ และ 3) หลอดรังสียูวี

2.3.6 การศึกษาความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

ทำการศึกษาความหนาของฟิล์มสีที่ระดับ 200 ไมครอน กับ 250 ไมครอน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยมีวิธีการเตรียม ดังนี้

2.3.6.1 การเตรียมแผ่นทดสอบที่ความหนาของฟิล์มสี 200 ไมครอน

นำสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 มาเคลือบลงบนแผ่นกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่วางบนกระจกแผ่นเรียบ โดยใช้เครื่องทำฟิล์มขนาดช่อง 100 ไมโครเมตร เคลือบสี (1 ด้าน) โดยเร็วและวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, จากนั้น ทาสีซ้ำด้านเดิมอีก 1 ครั้ง (เป็นการเลียนแบบการทาสีจริงซึ่งจะมีการทาอย่างน้อย 2 ครั้ง) เพื่อให้ได้ฟิล์มเรียบหนา 200 ไมโครเมตร เท่ากันทุกแผ่น และวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

2.3.6.2 การเตรียมแผ่นทดสอบที่ความหนาของฟิล์มสี 250 ไมครอน

นำสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 มาเคลือบลงบนแผ่นกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่วางบนกระจกแผ่นเรียบ โดยใช้เครื่องทำฟิล์มขนาดช่อง 250 ไมโครเมตร เคลือบสี (1 ด้าน) โดยเร็วและวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน แล้วตัดแผ่นทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร นำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

2.3.7 การทดสอบเพื่อประเมินวิธีการฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.3.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร มาทดสอบเพื่อประเมินวิธีการฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้ 1) ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ 2) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา ที่ 35 กิโลเกรย์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 3) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที.

จากนั้น นำแผ่นทดสอบที่ได้มาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ที่ได้จากข้อ 2.3.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ.

ทั้งนี้ การศึกษาในข้อ 2.3.6 และ 2.3.7 เป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการตามข้อเสนอแนะของผู้ผลิตสีและผู้ผลิตและจำหน่ายสารต้านสาหร่าย จึงนำมาไว้ในส่วนท้ายของการศึกษา.

3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกสารต้านสาหร่ายที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากผลการคัดเลือกสารต้านสาหร่ายเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายจำนวน 8 ชนิด (algicide A-H) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มาทดสอบกับนำสาหร่ายมาตรฐาน 3 สายพันธุ์ คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 และ *Nostoc paludosum* TISTR 8978 โดยวิธี agar diffusion ร่วมกับ ASTM D 5589-97 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.

ผลการทดสอบในภาพรวมพบว่า การฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบด้วยรังสีแกมมา การชะล้างแผ่นทดสอบด้วยน้ำ และเบส/น้ำ มีผลให้ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายส่วนใหญ่ลดลง.

แผ่นทดสอบ algicide A ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ, ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำ และแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเบสและน้ำพบว่า สารต้านสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารวุ้นได้ โดยเกิดโซนใสรอบแผ่นทดสอบและพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบน้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide B พบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านทานสาหร่ายได้ต่ำและถูกชะล้างได้ง่าย เนื่องจาก เมื่อนำแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำและด้วยเบสและน้ำมาทดสอบพบว่า ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ.

แผ่นทดสอบ algicide C พบว่า สารต้านสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารวุ้นได้ โดยเกิดโซนใสรอบแผ่นทดสอบ ในขณะที่บนแผ่นทดสอบพบว่า สารต้านสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เพียงเล็กน้อย โดยสังเกตได้จากการเจริญเติบโตของสาหร่ายอยู่ในระดับปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์).

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า algicide B และ C ซึ่งใช้สารหลักในกลุ่มเดียวกัน (Isoproturon) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มได้ต่ำ แม้จะมีการผสมกับสารอื่นแล้ว (algicide C) ด้วยเหตุนี้ทั้ง algicide B และ C จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำการทดสอบต่อในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไม่สามารถประเมินผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งสาหร่ายได้.

แผ่นทดสอบ algicide D ที่ไม่ผ่านการชะล้าง และผ่านการชะล้างด้วยน้ำพบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านสาหร่ายได้ดีทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ โดยสังเกตได้จากเมื่อนำ

แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำมาทดสอบพบว่า สารต้านสาหร่ายยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ.

แผ่นทดสอบ algicide E ในระดับความเข้มข้น 675 และ 1,350 ppm ที่ไม่ผ่านการชะล้าง พบว่า สารต้านสาหร่ายไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารเป็น 2,025 และ 2,700 ppm พบว่า สารต้านสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำและแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยเบสและน้ำไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ทั้งหมด เนื่องจาก algicide D และ E มีใส่สารหลักในกลุ่มเดียวกัน (zinc dimethyl dithiocarbamate) แต่ algicide D มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ดีกว่าจึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป.

แผ่นทดสอบ algicide F ใช้สารหลักกลุ่มเดียวกับ algicide A (terbutryn) แต่ algicide F แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายทั้งบนแผ่นฟิล์มและบนอาหารวุ้นได้ต่ำกว่า ดังนั้น algicide A จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบในขั้นตอนต่อไป.

แผ่นทดสอบ algicide G มีขนาดโซนใสใหญ่มาก (แม้เมื่อเทียบกับ algicide H ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5,000 ppm ขึ้นไป) แสดงให้เห็นว่า สารออกฤทธิ์ที่มีอยู่ในสูตรการผลิตนี้สามารถละลายได้ง่ายแพร่เข้าสู่เนื้ออาหารวุ้นได้ดี โดยเกิดโซนใสขนาดใหญ่ และหมดไปจากฟิล์มสีในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งสังเกตได้จากการที่สารต้านสาหร่ายไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ทั้งหมด และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งลดลงเมื่อผ่านการชะล้างแสดงให้เห็นว่า สารต้านสาหร่ายไม่มีความคงทนต่อการชะล้าง.

แผ่นทดสอบ algicide H ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำพบว่า สารต้านสาหร่ายยังคงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ทั้งในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเบสและน้ำพบว่า สารต้านสาหร่ายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารวุ้นได้ โดยเกิดโซนใสรอบแผ่นทดสอบและพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบน้อยมาก.

จากผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารต้านสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนในการทดสอบเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาจากชนิดและความเข้มข้นของสารต้านสาหร่ายในระดับกลางไม่สูงและต่ำเกินไปที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ (ระดับความเข้มข้นที่สูงจนเกินความจำเป็นเมื่อนำมาทดสอบขั้นตอนต่อไปจะไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดสอบได้อย่างชัดเจน เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ทั้งหมด ส่วนระดับความเข้มข้นที่ต่ำเกินไป เมื่อนำมาทดสอบจะทำให้มีประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้ง

การเจริญเติบโตสาหร่ายต่ำ รวมทั้งสารอาจถูกชะล้างจากแผ่นทดสอบได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถประเมินผลได้ชัดเจนเช่นเดียวกัน) เพื่อใช้เป็นตัวแทนทดสอบในการคัดเลือกเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีทาภายนอกที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการสามารถคัดเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีได้ 3 ชนิด จาก 8 ชนิด คือ 1) algicide A ที่ความเข้มข้น 700 ppm 2) algicide D ที่ความเข้มข้น 1,500 ppm และ 3) algicide H ที่ความเข้มข้น 2,500 ppm.

ตารางที่ 7. ผลการคัดเลือกสารต้านสาหร่ายเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

สารต้านสาหร่าย[1]	ความเข้มข้นของสาร (ppm)	การฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา	การชะล้างแผ่นทดสอบ		
			ไม่ผ่านการชะล้าง[x]	ชะล้างด้วยน้ำ[y]	ชะล้างด้วยเบส/น้ำ[z]
1. ชุดควบคุม	-	-	- (4)	- (4)	- (4)
		/	- (4)	- (4)	- (4)
2. algicide A	700	-	47.50±1.27[2](0)[3]	46.42±2.25 (1)	47.61±3.50 (1)
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion)		/	42.10±4.23 (0)	42.12±2.10 (1)	47.27±2.93 (1)
	1,410	-	49.59±0.47 (0)	43.41±0.47 (0)	44.03±2.02 (0)
		/	48.93±2.40 (0)	45.76±2.47 (1)	49.63±3.02 (1)
3. algicide B	675	/	20.49±0.34 (3)	- (4)	- (4)
(45 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon dispersion)	1,350	/	21.88±1.39 (3)	- (4)	- (4)
	2,700	/	20.70±0.99 (2)	- (4)	- (4)
4. algicide C	600	/	24.80±3.30 (4)	21.93±1.13 (4)	19.63±0.80 (4)
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon	1,200	/	27.23±2.75 (3)	20.77±1.39 (3)	32.22±4.29 (3)
: Cybutryn dispersion)	2,400	/	59.84±1.29 (2)	31.73±3.21 (3)	36.21±1.33 (3)
5. algicide D	750	-	26.42±1. 72 (0)	- (2)	- 4)
(100 เปอร์เซ็นต์ of Zinc dimethyl		/	- (0)	- (1)	- (4)
dithiocarbamate)	1,500	-	27.22±1.64 (0)	17.91±1.07 (0)	- (3)
		/	20.77±0.32 (0)	- (0)	- (3)
	3,000	-	33.42±0.83 (0)	34.43±1.04 (0)	- (2)
		/	30.51±2.22 (0)	18.40±0.76 (0)	- (2)
	6,000	-	35.98±2.94 (0)	29.79±0.51 (0)	- (1)
		/	33.27±1.41 (0)	25.88±1.18 (0)	- (1)
6. algicide E	675	/	22.63±1.81 (3)	17.80±0.48 (3)	- (4)
(5 เปอร์เซ็นต์ Carbendazim :	1,350	/	27.08±1.02 (1)	19.07±0.69 (1)	- (4)
45 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl	2,025	/	29.22±3.13 (0)	19.05±0.49 (2)	- (4)
dithiocarbamate)	2,700	/	33.23±0.69 (0)	21.91±0.10 (1)	- (3)

ตารางที่ 7. (ต่อ)

สารต้านสาหร่าย[1]	ความเข้มข้นของสาร (ppm)	การฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา	การชะล้างแผ่นทดสอบ		
			ไม่ผ่านการชะล้าง[x]	ชะล้างด้วยน้ำ[y]	ชะล้างด้วยเบส/น้ำ[z]
7. algicide F (47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn : 40 เปอร์เซ็นต์ Cybutryn)	650	-	36.59±1.72 (2)	35.93±4.35 (2)	35.94±2.86 (2)
		/	39.94±3.23 (2)	31.29±0.85 (2)	33.91±1.65 (1)
	1,300	-	62.69±2.43 (2)	65.05±5.42 (2)	57.91±2.55 (2)
		/	54.46±1.71 (2)	51.41±4.09 (2)	56.99±3.22 (2)
	1,950	-	65.90±3.04 (1)	64.19±2.61 (1)	58.85±0.45 (1)
		/	62.06±3.12 (2)	59.78±0.75 (2)	61.74±1.47 (2)
	2,600	-	66.68±4.01 (1)	62.49±4.65 (1)	64.34±2.10 (1)
		/	63.79±2.89 (1)	59.61±0.68 (1)	59.02±3.53 (2)
8. algicide G (43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)	4,300	-	85.00±0.00 (1)	72.49±2.41 (2)	62.47±5.18 (2)
		/	85.00±0.00 (1)	65.50±1.28 (2)	53.87±3.07 (2)
9. algicide H (50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)	2,500	-	44.87±0.28 (0)	33.10±1.61 (0)	- (1)
		/	44.02±0.85 (0)	20.41±0.52 (2)	- (2)
	5,000	-	44.41±0.68 (0)	32.26±0.78 (0)	- (1)
		/	44.82±0.89 (0)	20.45±0.99 (0)	- (2)
	7,500	-	42.26±1.51 (0)	35.22±0.65 (0)	18.16±1.09 (1)
		/	48.63±3.82 (0)	34.49±1.10 (0)	- (2)
	10,000	-	47.76±2.18 (0)	40.72±0.96 (0)	18.84±1.09 (1)
		/	49.21±3.70 (0)	32.28±1.05 (0)	- (2)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ โดยวิธีผสมผสาน และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2] ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใส ที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ

หมายเหตุ : [3] ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D 5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย
1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์)
2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์)
4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)

[x] ฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบด้วยรังสีแกมมา 35 กิโลเกรย์

[y] ชะล้างแผ่นทดสอบโดยการแช่ในน้ำนิ่ง 24 ชั่วโมง

[z] ชะล้างแผ่นทดสอบด้วยสารละลายเบส $Ca(OH)_2$ อิ่มตัว 24 ชั่วโมง และในน้ำนิ่ง 24 ชั่วโมง

3.2 ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

นำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการคัดเลือกจากข้อ 3.1 โดยเตรียมฟิล์มสี 2 ระดับคุณภาพ คือ ฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) และฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) มาทดสอบ เพื่อคัดเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้ 1) วิธี agar diffusion 2) วิธี ASTM D 5589-97 และ 3) วิธีผสมผสาน (combined method) ผลดังแสดงในตารางที่ 8 และรูปที่ 7-9.

เมื่อนำผลการทดสอบด้วยวิธี agar diffusion และวิธีผสมผสาน มาเปรียบเทียบความทนทานของสารต้านสาหร่ายต่อการถูกชะล้าง โดยวัดขนาดของโซนใสรอบแผ่นทดสอบในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบ algicide A 35 และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) ขนาดของโซนใสที่วัดได้ทั้ง 2 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่แผ่นทดสอบ algicide D 35 และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะหนัก (zinc compound 1) เมื่อผ่านการทดสอบด้วยวิธี agar diffusion กับวิธีผสมผสานพบว่า ขนาดของโซนใสที่วัดได้จากวิธี agar diffusion มีขนาดใหญ่กว่าวิธีผสมผสานและจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า ทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนแผ่นทดสอบ algicide H 35 และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC, ซึ่งมีส่วนผสมของสารประกอบโลหะหนัก (zinc compound 2) เมื่อผ่านการทดสอบด้วยวิธี agar diffusion กับวิธีผสมผสานพบว่า ขนาดของโซนใสที่วัดได้ทั้ง 2 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$). จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) จะมีสารต้านสาหร่ายแพร่ออกมายับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้มากกว่าโดยเกิดโซนใสขนาดใหญ่กว่าฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มสีชั้นทั่วไปที่มีสารยึด (binder) ต่ำ มีความพรุนสูงและความหนาแน่นต่ำ ทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะออกมาได้ง่าย.

สำหรับวิธี ASTM D 5589-97 เป็นวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย วัดผลโดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ขึ้นครอบคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีผสมผสานพบว่า แผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายทุกชนิดมีผลไม่แตกต่างกัน.

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า วิธี agar diffusion มีข้อดี คือ สามารถบ่งชี้ถึงความทนทานของสารต้านสาหร่ายต่อการถูกชะล้าง แต่มีข้อด้อย คือ ไม่สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสี ส่วนวิธี ASTM D 5589-97 มีข้อดี คือ เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยตรง แต่ไม่สามารถบ่งชี้ถึงความทนทานของสารต้านสาหร่ายต่อการถูกชะล้างได้ ในขณะที่วิธีผสมผสานเป็นการนำเอาจุดเด่นของทั้ง 2 วิธี มาใช้ร่วมกัน โดยใช้เวลาทดสอบเท่าเดิม แต่สามารถศึกษาได้ทั้งประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและความยากง่ายต่อการถูกชะล้างของสารต้านสาหร่ายได้. จากการ

เปรียบเทียบดังกล่าวจึงเลือกวิธีผสมผสาน เนื่องจาก ให้ผลการทดสอบที่ครอบคลุมมากกว่าวิธีการใด วิธีการหนึ่งซึ่งผู้ผลิตสีสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการพัฒนาสูตรและคุณภาพ (มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายสูงและทนทานต่อการถูกชะล้าง) ในเวลาเดียวกันจึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบ.

ตารางที่ 8. ผลการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับห้องปฏิบัติการ

วิธีการทดสอบ[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. วิธี Agar diffusion	-	-	42.20±3.64[4a]	49.89±0.90[a]	41.22±0.49[a]	44.43±0.43[a]	46.69±2.43[a]	51.29±2.92[a]
2. วิธี ASTM D5589-97	(4)	(4)	(1)[5]	(3)	(2)	(2)	(0)	(0)
3. วิธีผสมผสาน	- (4)	- (4)	44.32±1.28[a] (1)	46.75±2.33[a] (3)	35.50±2.86[b] (2)	39.36±1.39[b] (2)	48.79±6.20[a] (0)	50.70±1.40[a] (0)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

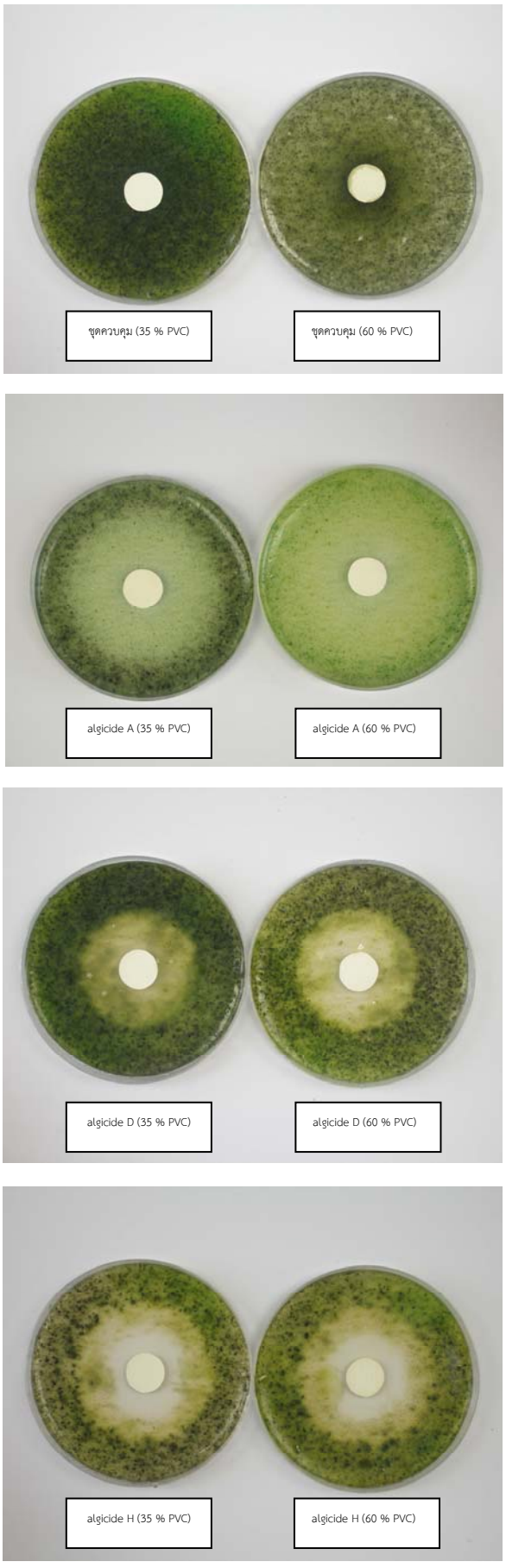
[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's multiple range test

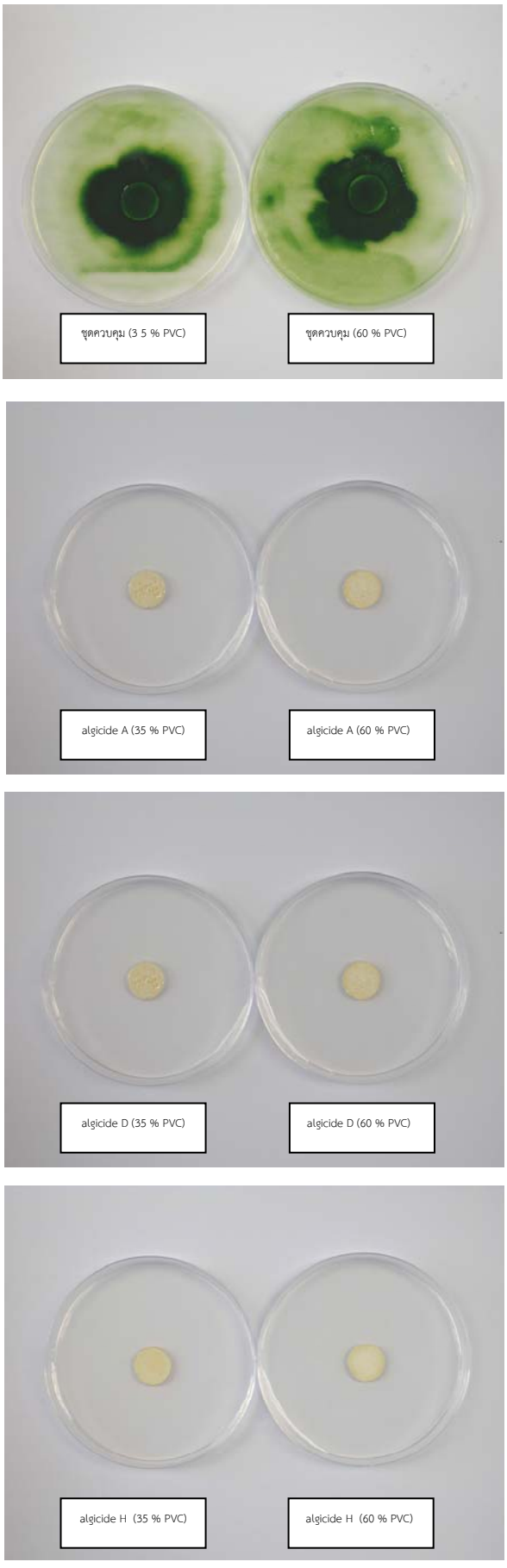
[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

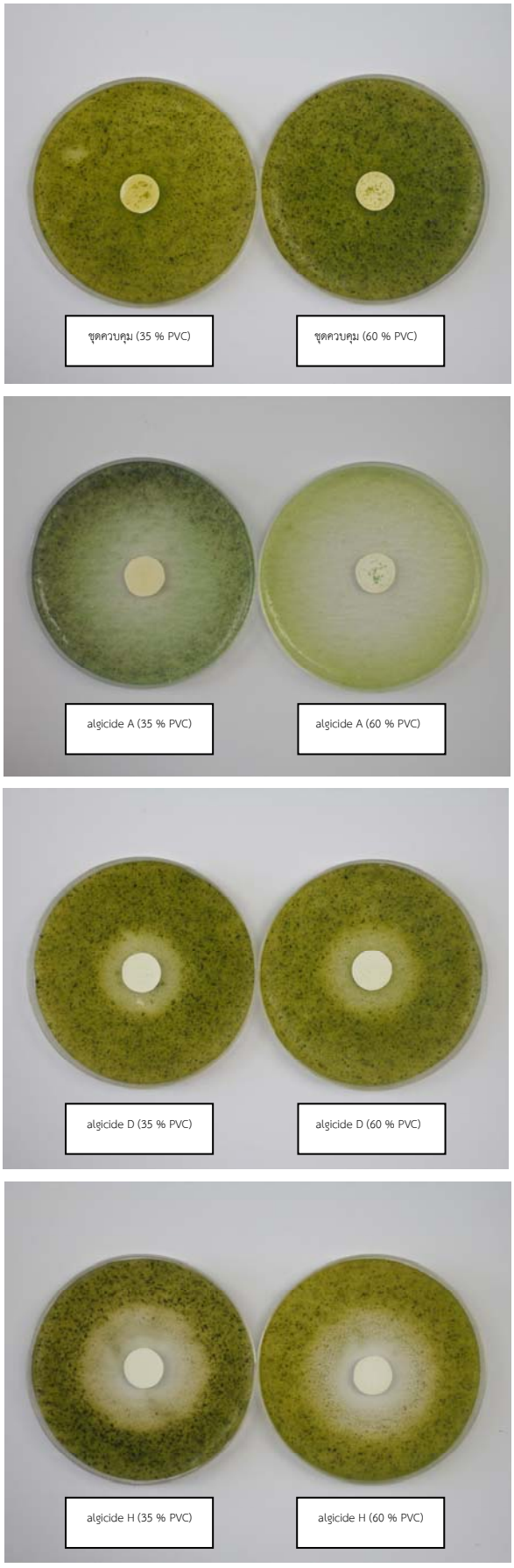
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 7. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการทดสอบโดยวิธี Agar diffusion.



รูปที่ 8. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการทดสอบ โดยวิธี ASTM D5589-97.



รูปที่ 9. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการทดสอบโดยวิธีผสมผสาน.

3.3 ผลการศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบโดยให้ความเข้มแสงสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในระดับที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 2,000, 4,000 และ 6,000 ลักซ์ ผลดังแสดงในตารางที่ 9 และรูปที่ 10-12.

สารต้านสาหร่ายชนิดเดียวกันบนแผ่นฟิล์มสีคุณภาพเดียวกันบ่มที่ระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกันกัน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายไม่แตกต่างกัน.

แผ่นทดสอบ algicide A 35 และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ความเข้มแสงทั้ง 3 ระดับ พบว่า มีขนาดของโซนใสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC และ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ พบว่า ขนาดโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับที่ความเข้มแสง 4,000 และ 6,000 ลักซ์ ในขณะที่แผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC และ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ความเข้มแสง 2,000 และ 4,000 ลักซ์ พบว่า ขนาดโซนใสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับที่ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์ โดยมีค่าลดลงที่ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการที่ฟิล์มสี 60 เปอร์เซ็นต์ PVC สัมผัสความเข้มแสงระดับดังกล่าวเป็นเวลานานถึง 4 สัปดาห์ อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งสาหร่ายลดลง.

จากการเปรียบเทียบสภาพของสาหร่าย โดยดูจากสีของรงควัตถุพบว่า ที่ความเข้มแสง 2,000 และ 4,000 ลักซ์ ลักษณะของสาหร่ายในจานเพาะเชื้อ มีสีเขียวเข้ม ในขณะที่ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์ พบว่า ลักษณะของสาหร่ายบริเวณผิวหน้าอาหารวุ้นมีสีเหลืองปนเขียว เนื่องจากได้รับแสงในปริมาณสูง.

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ที่ความเข้มแสง 2,000 และ 4,000 ลักซ์ มีขนาดโซนใสและอัตราการอยู่รอดของสาหร่ายไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด และสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเทียบกับชุดควบคุม.

	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์	- (4)	- (4)	46.40±0.51[4a] (1)[5]	48.39±1.81[a] (3)	31.94±1.56[a] (1)	40.55±0.77[a] (2)	49.95±2.60[a] (0)	49.20±0.29[a](0)
2. ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์	- (4)	- (4)	44.32±1.28[a] (1)	46.75±2.33[a] (3)	35.50±2.86[a] (2)	39.36±1.39[a] (2)	48.79±6.20[a] (0)	50.70±1.40[a] (0)
3. ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์	- (4)	- (4)	45.07±1.40[a] (1)	49.50±3.31[a] (3)	34.76±0.86[a] (1)	35.99±2.17[b] (2)	48.22±1.00[a] (0)	47.31±1.30[b] (0)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12: 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

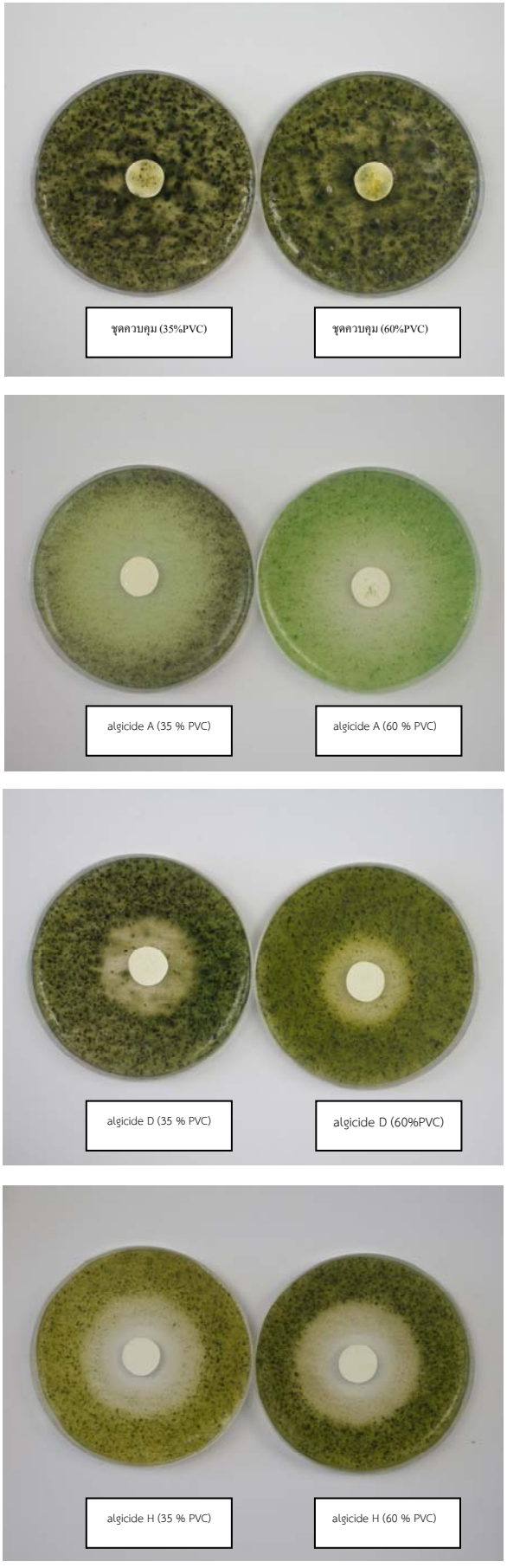
[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's multiple range test

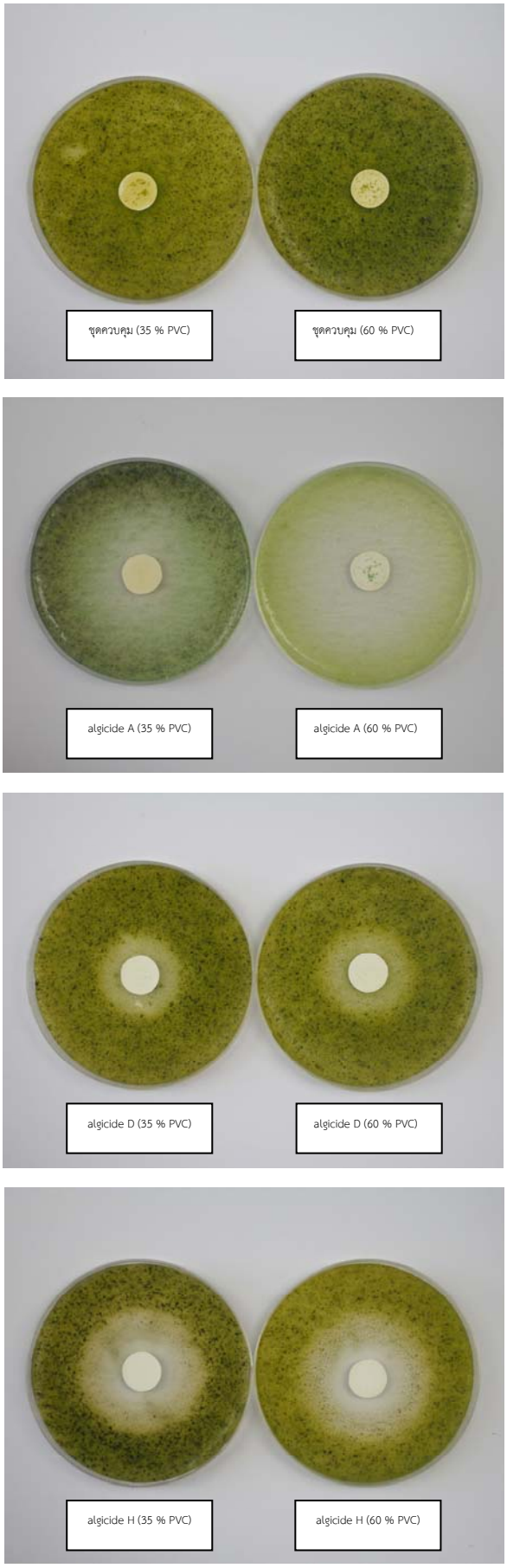
[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

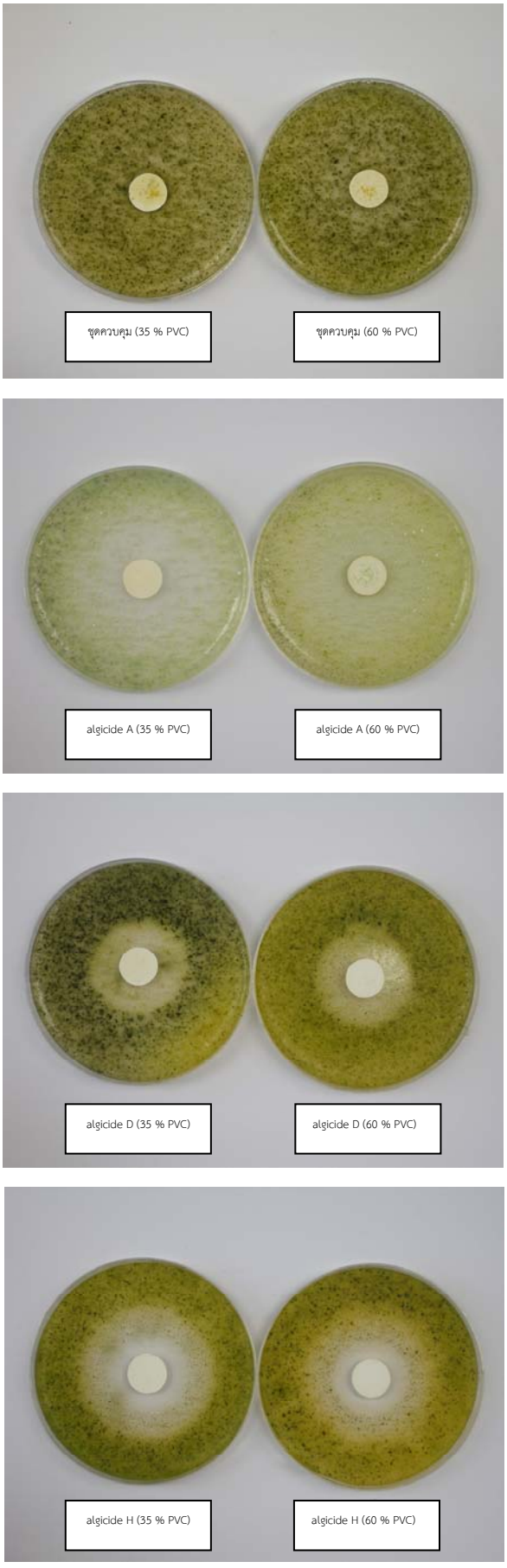
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 10. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์.



รูปที่ 11. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์.



รูปที่ 12. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่บ่มภายใต้ความเข้มแสง 6,000 ลักซ์.

3.4 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการแบ่งเป็น 2, 3, 4 และ 8 สัปดาห์ ผลดังแสดงในตารางที่ 10 และรูปที่ 13-14 แผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC และ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่แผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 4 สัปดาห์ พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2 และ 3 สัปดาห์ แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 8 สัปดาห์.

แผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 8 สัปดาห์.

จากการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนฟิล์มสีควบคู่กับการวัดขนาดโซนใส เพื่อช่วยในการคัดเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมได้ผล ดังนี้

ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2 และ 3 สัปดาห์ พบว่า การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายยังไม่สมบูรณ์ โดยเป็นระยะที่สารออกฤทธิ์เริ่มทำงาน จึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ และการเกิดโซนใสไม่ชัดเจน.

ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 4 สัปดาห์ พบว่า สารต้านสาหร่ายแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายเต็มที่และคงที่ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบได้ง่าย รวมทั้งสามารถตรวจพบการย้อนกลับมาเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ชัดเจนบนอาหารวุ้น.

ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 8 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายบริเวณผิวหน้าอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบเริ่มมีสีเหลืองซีด เนื่องจากสารอาหารค่อยๆ หมดลง และพบว่า มีสาหร่ายบางส่วนเจริญเติบโตเข้ามาในบริเวณที่เกิดโซนใส (hazy zone) ทั้งนี้ เนื่องจากสารต้านสาหร่ายถูกชะล้างออกมามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง ดังนั้น การยับยั้งหรือการลดลงของการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ระยะเวลาบ่มเชื้อ 8 สัปดาห์ จึงมิได้เกิดจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายเพียงอย่างเดียว แต่มีปัจจัยในเรื่องของอาหารที่ลดลงซึ่งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน นอกจากนี้ การเกิดโซนที่ไม่ชัดเจน (hazy zone) ขึ้นภายหลังการบ่มเชื้อ 8 สัปดาห์ สามารถเกิดได้ทั้งจากการเสื่อมประสิทธิภาพของสารเคมีและ/หรือการสร้างความต้านทานโดยเซลล์สาหร่าย.

สามารถเกิดได้ทั้งจากการเสื่อมประสิทธิภาพของสารเคมีและ/หรือการสร้างความต้านทานโดยเซลล์สาหร่าย.

จากผลการทดสอบดังกล่าว จึงทำการเลือกระยะเวลาการบ่มเชื้อที่ 4 สัปดาห์ เนื่องจากตรวจวัดผลในอาหารวุ้นและบนแผ่นทดสอบได้ง่ายและชัดเจน และเป็นการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาเท่ากับหรือใกล้เคียงกับวิธีทดสอบของบริษัทสีต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เวลาทดสอบ 3-4 สัปดาห์ เว้นแต่มาตรฐานสิงคโปร์ ซึ่งทำการทดสอบ 8 สัปดาห์ แต่เป็นการทดสอบโดยใช้อาหารเหลว และมีการเติมอาหารเป็นระยะๆ ตลอดการทดสอบ (Singapore Institute of Standards 1990).

ตารางที่ 10. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มเชื้อที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสำหรับห้องปฏิบัติการ

ระยะเวลาในการบ่มเชื้อ[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. ระยะเวลา 2 สัปดาห์	- (4)	- (4)	45.34±0.82^{4a} (2)[5]	44.05±1.46^{b} (3)	31.46±1.04^{a} (3)	40.36±2.87^{a} (3)	42.49±0.65^{ab}(0)	47.88±1.60^{b} (0)
2. ระยะเวลา 3 สัปดาห์	- (4)	- (4)	46.43±1.27^{a} (1)	48.06±1.28^{a} (3)	35.29±2.99^{a} (2)	40.42±1.75^{a} (2)	45.47±0.73^{a} (0)	47.18±1.78^{b} (0)
3. ระยะเวลา 4 สัปดาห์	- (4)	- (4)	44.32±1.28^{a} (1)	46.75±2.33^{ab}(3)	35.50±2.86^{a} (2)	39.36±1.39^{a} (2)	48.79±6.20^{a} (0)	50.70±1.40^{a} (0)
4. ระยะเวลา 8 สัปดาห์	- (4)	- (4)	29.75±1.04^{b} (1)	21.43±1.93^{c} (2)	35.61±5.10^{a} (2)	31.30±1.17^{b} (2)	38.86±1.38^{b} (0)	38.89±1.33^{c} (0)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

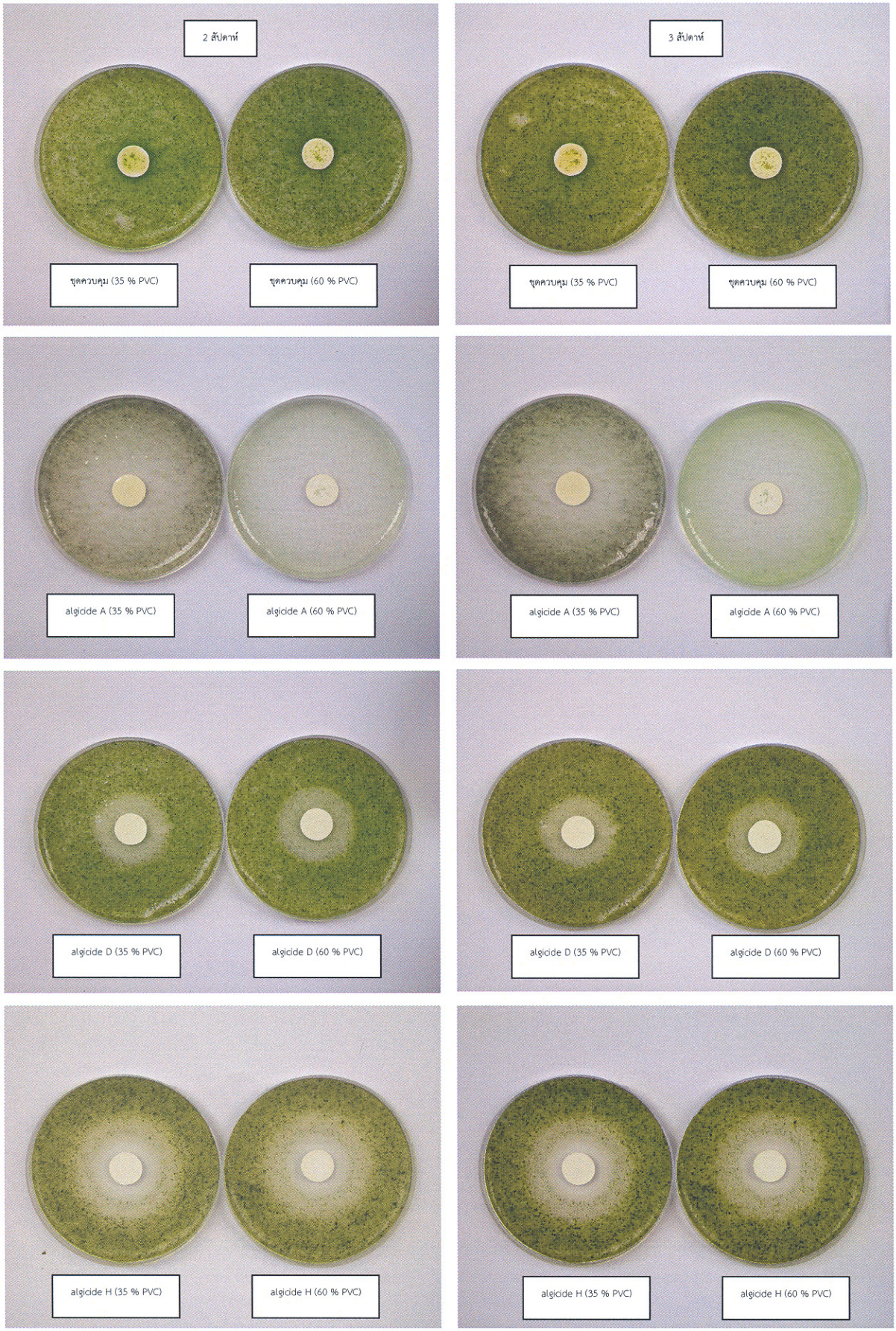
[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

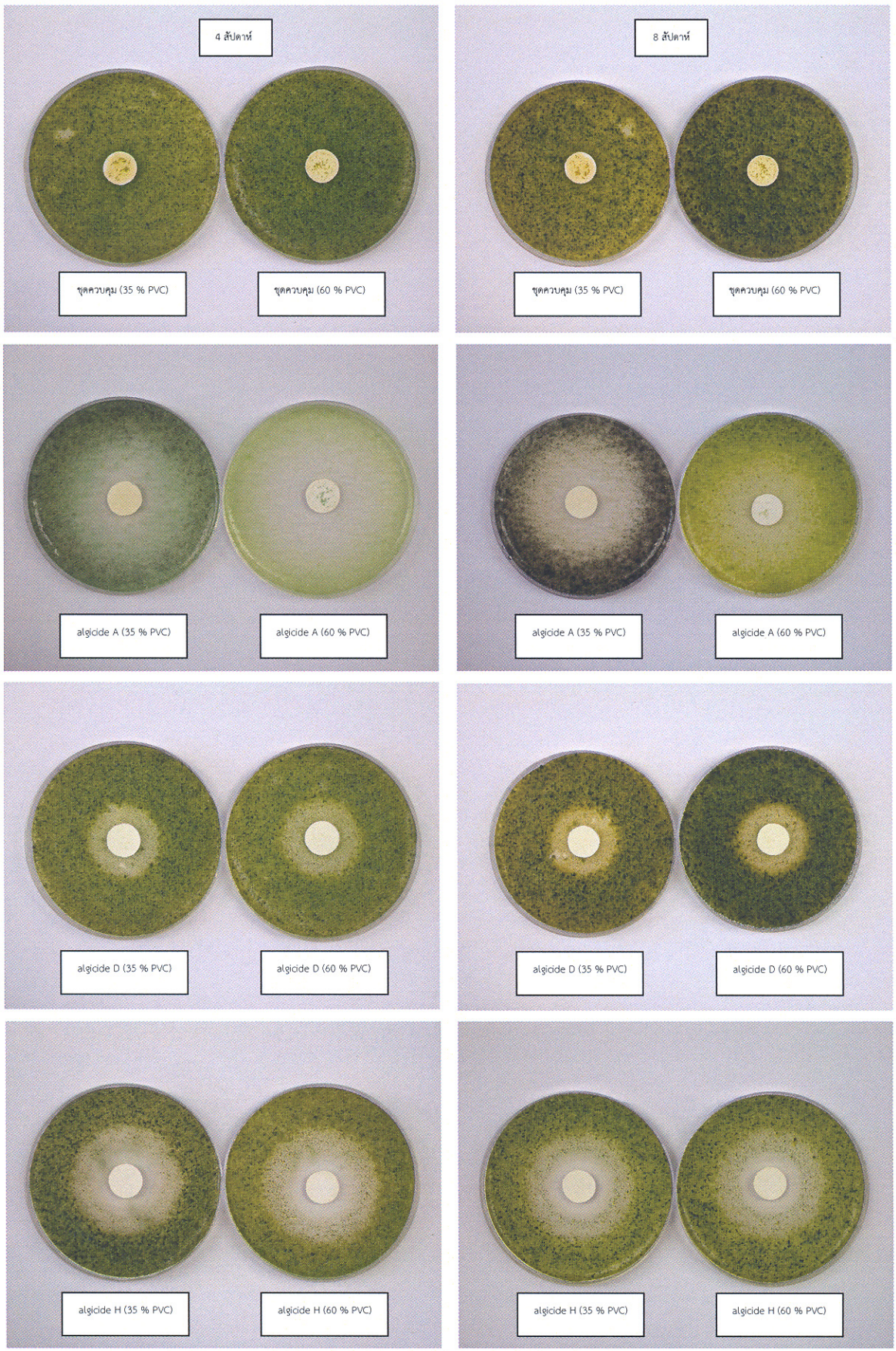
[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's multiple range test

[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 13. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการทดสอบโดยวิธีผสมผสาน เมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มเชื้อ 2 และ 3 สัปดาห์.



รูปที่ 14. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการทดสอบ
โดยวิธีผสมผสานเมื่อผ่านระยะเวลาการบ่มเชื้อ 4 และ 8 สัปดาห์.

3.5 ผลการศึกษาสภาพทางกายภาพที่ใช้ร่วมกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.5.1 ผลการชะล้างแผ่นทดสอบ

3.5.1.1 ผลการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหล

จากการศึกษาระยะเวลาการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหล แบ่งเป็น 0 (ไม่ผ่านการชะล้าง) 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 15-18.

แผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใส มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างที่ 24 และ 48 ชั่วโมง แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างที่ 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการ ชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีขนาดของโซนใส มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 13, 16 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ในขณะที่แผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่าขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มี

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 30, 36 และ 41 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีขนาดของโซนใส 39.36 มิลลิเมตร ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง ทุกช่วงเวลา (24-72 ชั่วโมง) พบว่า ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างทุกช่วงเวลา มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่เกิดโซนใส และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อยบนแผ่นทดสอบ (10-30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 ชั่วโมง แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในขณะที่แผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 9, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้างพบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (0 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ในขณะที่แผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า ขนาด

ของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 14 และ 19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้าง พบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (0 เปอร์เซ็นต์).

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า โดยฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งมีความหนาแน่นของฟิล์มสีสูง, รูพรุนน้อย เมื่อถูกการชะล้างด้วยน้ำจึงทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะออกมาเพียงเล็กน้อย ในขณะที่สีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) มีความหนาแน่นของฟิล์มสีต่ำ, รูพรุนมาก เมื่อถูกการชะล้างด้วยน้ำ จึงทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะออกมาจำนวนมาก เมื่อนำแผ่นทดสอบมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมีขนาดของโซนใสเล็กกว่าฟิล์มสีชั้นคุณภาพ.

3.5.1.2 ผลการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง

จากการศึกษาระยะเวลาการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง แบ่งเป็น 0 (ไม่ผ่านการชะล้าง) 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ผลดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 19-21.

แผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 0.2, 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48

และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 7, 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างที่ 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 12, 20 และ 36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อยบนแผ่นทดสอบ (10-30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีขนาดของโซนใส 39.36 มิลลิเมตร ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีขนาดโซนใสเล็กลงเหลือเพียง 17.95 มิลลิเมตร ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง ไม่เกิดโซนใสรอบแผ่นทดสอบเนื่องจากสารต้านสาหร่ายดังกล่าวถูกชะล้างหมดไป จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต

ของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 54, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเล็กน้อยบนแผ่นทดสอบ (10-30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 2 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้างพบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (0 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ในขณะที่แผ่นทดสอบซึ่งผ่านการชะล้างเป็นเวลา 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า ขนาดของโซนใสไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการชะล้างต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 8, 22 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการ

เจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการชะล้าง พบว่า ไม่มีพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (0 เปอร์เซ็นต์).

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้างจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสูงสุด ขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้าง จะมีสารต้านสาหร่ายบางส่วนถูกชะล้างออกไป ทำให้ความเข้มข้นของสารต้านสาหร่ายลดลงซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง ดังนั้น การผสมสารเคมีลงในผลิตภัณฑ์สีเพื่อใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารเคมีที่สูงกว่าระดับที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ (ทัดแก้ว 2540) และจากการเปรียบเทียบผลการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหลและน้ำนิ่งพบว่า การชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหลมีผลทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะล้างมากกว่าการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่ง ทั้งนี้ เนื่องมาจากในน้ำไหลจะมีการหมุนเวียนของน้ำตลอดเวลา ทำให้สารต้านสาหร่ายถูกชะออกมาได้ง่าย ขนาดของโซนใสจึงเล็กกว่าอย่างเห็นได้ชัด ส่วนคุณภาพของฟิล์มสีก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน สังเกตได้จากเมื่อแผ่นทดสอบมาผ่านการชะล้าง โดยเพิ่มระยะเวลาในการชะล้าง พบว่า สีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งมีความหนาแน่นของฟิล์มสีสูง, รูพรุนน้อย ถึงแม้จะผ่านระยะเวลาของการชะล้างนาน แต่ประสิทธิภาพและความคงทนในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะดีกว่าสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งมีความหนาแน่นของฟิล์มสีต่ำ, รูพรุนมาก โดยสังเกตได้จากขนาดของโซนใสและการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ.

จากการเปรียบเทียบแผ่นทดสอบที่ผ่านการชะล้างในน้ำนิ่งที่ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง กับแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการชะล้างจะเห็นได้ว่า หลังการชะล้างที่ 24 ชั่วโมง โซนใสมีขนาดเล็กลง เนื่องจากสารต้านสาหร่ายบางส่วนเริ่มถูกชะล้าง ทำให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารต้านสาหร่ายลดลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการชะล้างเป็น 48 ชั่วโมง พบว่า โซนใสยังมีขนาดสัมพันธ์กับที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่เพิ่มระยะเวลาเป็น 72 ชั่วโมง พบว่า โซนใสมีขนาดเล็กลงแต่เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับที่ 48 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการยับยั้งสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสีพบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งจะคงที่ภายหลังการชะล้างเป็นเวลา 48

ชั่วโมง เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าสารต้านสาหร่ายส่วนที่ง่ายต่อการชะล้างจะถูกชะหลุดออกจากแผ่นฟิล์มไปภายในเวลา 48 ชั่วโมง.

การทดลองนี้นอกจากจะชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มหลังจากถูกชะล้าง รวมถึงความยากง่ายต่อการถูกชะล้างของสารต้านสาหร่ายในสภาพน้ำไหลหรือน้ำนิ่ง ณ เวลาต่างๆ ที่ทำให้ทราบว่า ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายนอกจากจะขึ้นกับชนิดของสารต้านสาหร่ายแล้วยังขึ้นกับชั้นคุณภาพของสี (เปอร์เซ็นต์ PVC) แล้ว ยังพบว่า ฟิล์มสีที่ใช้สูตรเดียวกันจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายต่างชนิดได้ต่างกัน ดังนั้น ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องพิจารณาปรับสูตรเป็นการเฉพาะให้เหมาะสมกับสารต้านสาหร่ายที่เลือกใช้.

การทดลองนี้ยังพบอีกว่า นอกจากการยับยั้งการเจริญเติบโตโดยสารต้านสาหร่ายที่เติมลงในสีแล้ว เมื่อพิจารณาถึงสภาพการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนฟิล์มสีเฉพาะชุดควบคุมทุกชุดเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูปที่ 15-21 จะพบว่า แม้ทุกชุดจะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายครอบคลุมแผ่นฟิล์มในระดับ 4 (60-100 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อพิจารณาถึงสีและความหนาแน่นในการเจริญเติบโตแล้ว ชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการชะล้าง สาหร่ายจะมีสีเขียวจางและมีการเจริญเติบโตครอบคลุมอยู่อย่างเบาบาง ในขณะที่ชุดการทดลองที่ผ่านการชะล้างพบว่า นอกจากจะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มอย่างหนาแน่นแล้ว สีของสาหร่ายยังเป็นสีเขียวเข้ม แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบอื่นของสี เช่น สารกันเสียภายในกระป๋อง (in-can biocide), ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent), ตัวประสานเพื่อให้เกิดการฟอร์มตัวของฟิล์มสี (coalescing agent), ตลอดจนผงสีบางชนิดก็มีส่วนช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและเชื้อราได้ในระดับหนึ่งเช่นกัน (ออนไลน์ http://www.brueggemann.com/fileadmin/user_upload/chemical_ic/downloads/ZnO-for-Paints.pdf).

ด้วยเหตุนี้ หากผู้ผลิตสีต้องการให้ผลิตภัณฑ์สีมีคุณภาพที่ดีในการต้านทานสาหร่ายอย่างมีประสิทธิภาพ องค์ประกอบของสีอื่นๆ ที่มีส่วนช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการทำงานของสารต้านสาหร่าย (synergistic effect) ก็เป็นส่วนที่ควรนำมาศึกษาหรือพิจารณาเพิ่มเติม ซึ่งองค์ประกอบนี้นอกจากจะส่งเสริมประสิทธิภาพความต้านทานทางเคมีแล้ว องค์ประกอบที่ส่งเสริมคุณสมบัติทางกายภาพให้ฟิล์มสีมีความต้านทานต่อสาหร่ายมากขึ้น เช่น ลดการดูดซึมหรือดูดซับน้ำหรือความชื้นของฟิล์มสี เป็นเรื่องที่น่าสนใจเช่นกัน.

ตารางที่ 11. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาของการชะล้างในน้ำไหลและน้ำนิ่งที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

การชะล้างแผ่นทดสอบ[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. การชะล้างในน้ำไหล								
0 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	44.32±1.28^{aa}(1)[5]	46.75±2.33^{a} (3)	35.50±2.86^{a} (2)	39.36±1.39^{a} (2)	48.79±6.20^{a} (0)	50.70±1.40^{a} (0)
24 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	43.18±0.16^{ab}(2)	40.88±1.96^{b} (3)	24.83±2.20^{b} (4)	-^{b} (4)	44.63±1.87^{ab}(0)	43.41±0.81^{b} (0)
48 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	42.92±0.62^{ab}(2)	39.14±0.88^{b} (3)	22.61±2.04^{b} (4)	-^{b} (4)	42.34±1.53^{ab}(0)	40.96±1.84^{b} (0)
72 ชั่วโมง	-(4)	- (4)	41.83±0.72^{b} (2)	35.99±0.59^{c} (3)	20.79±0.31^{b} (4)	-^{b} (4)	41.36±3.10^{b} (0)	40.98±0.60^{b} (0)
2. การชะล้างในน้ำนิ่ง								
0 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	44.32±1.28^{a} (1)	46.75±2.33^{a} (3)	35.50±2.86^{a} (2)	39.36±1.39^{a} (2)	48.79±6.20^{a} (0)	50.70±1.40^{a} (0)
24 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	44.22±1.01^{a}(2)	43.64±1.86^{a} (3)	31.28±4.17^{a}(4)	17.95±0.06^{b}(4)	48.03±0.91^{a} (0)	46.65±1.23^{b} (0)
48 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	43.64±0.85^{a} (2)	42.01±0.35^{a} (4)	28.26±6.16^{ab}(4)	-^{c} (4)	47.76±4.63^{a} (0)	39.57±0.68^{c} (0)
72 ชั่วโมง	-(4)	- (4)	42.26±1.57^{a} (2)	41.58±1.33^{a} (4)	22.80±3.23^{b} (4)	-^{c} (4)	43.56±0.31^{a} (0)	38.86±0.61^{c} (0)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

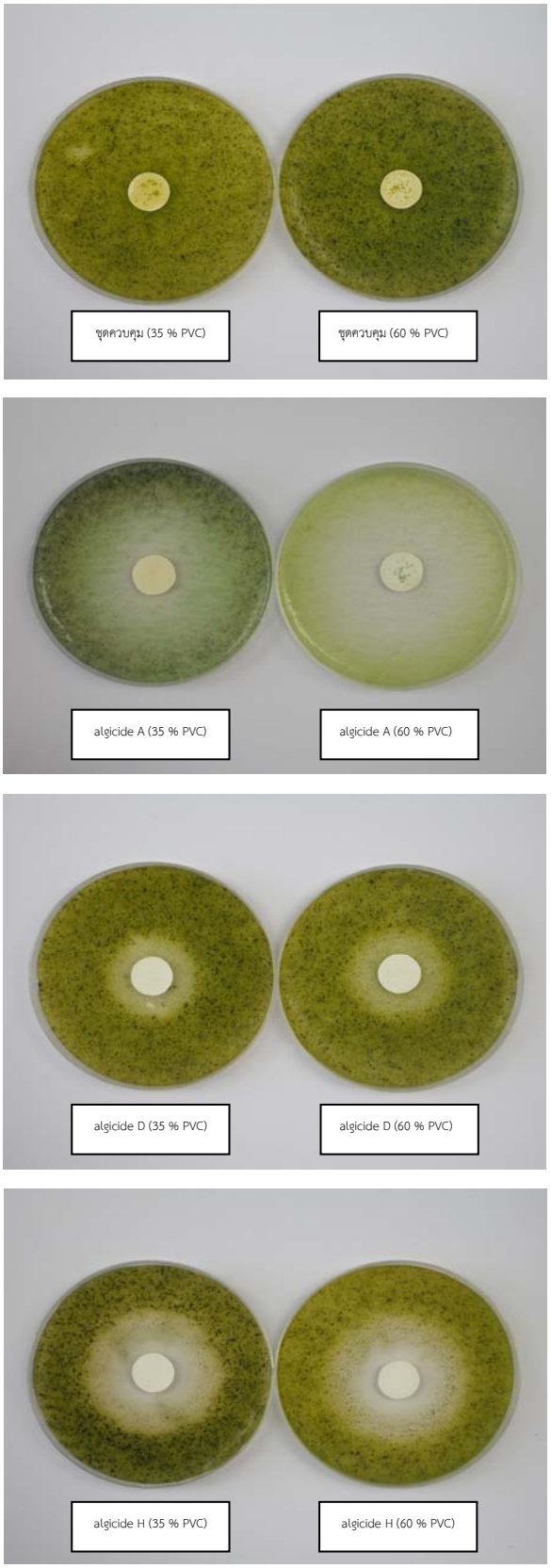
[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

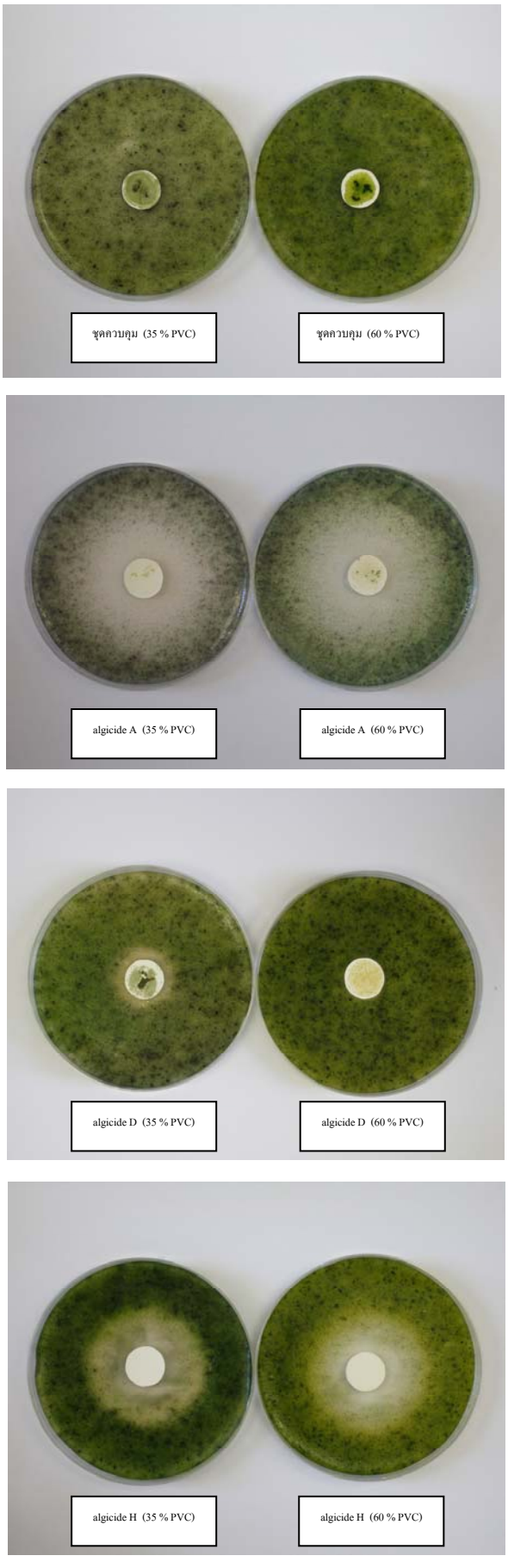
[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's multiple range test

[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

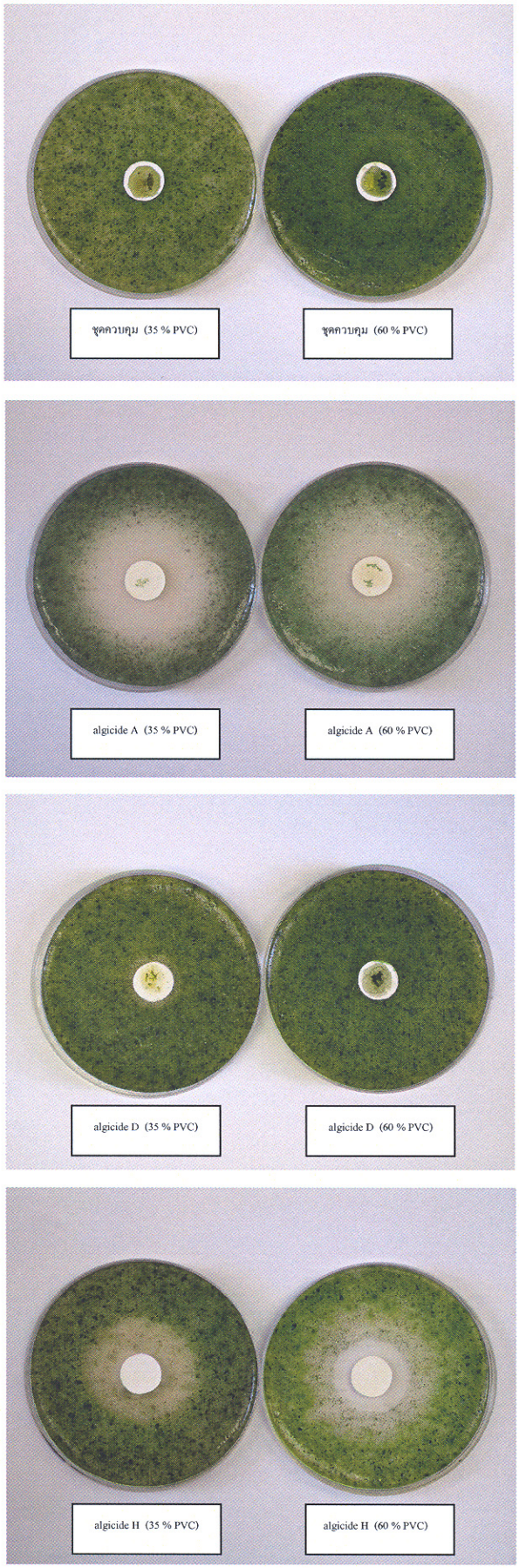
0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย, 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์), 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์), 3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) และ 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



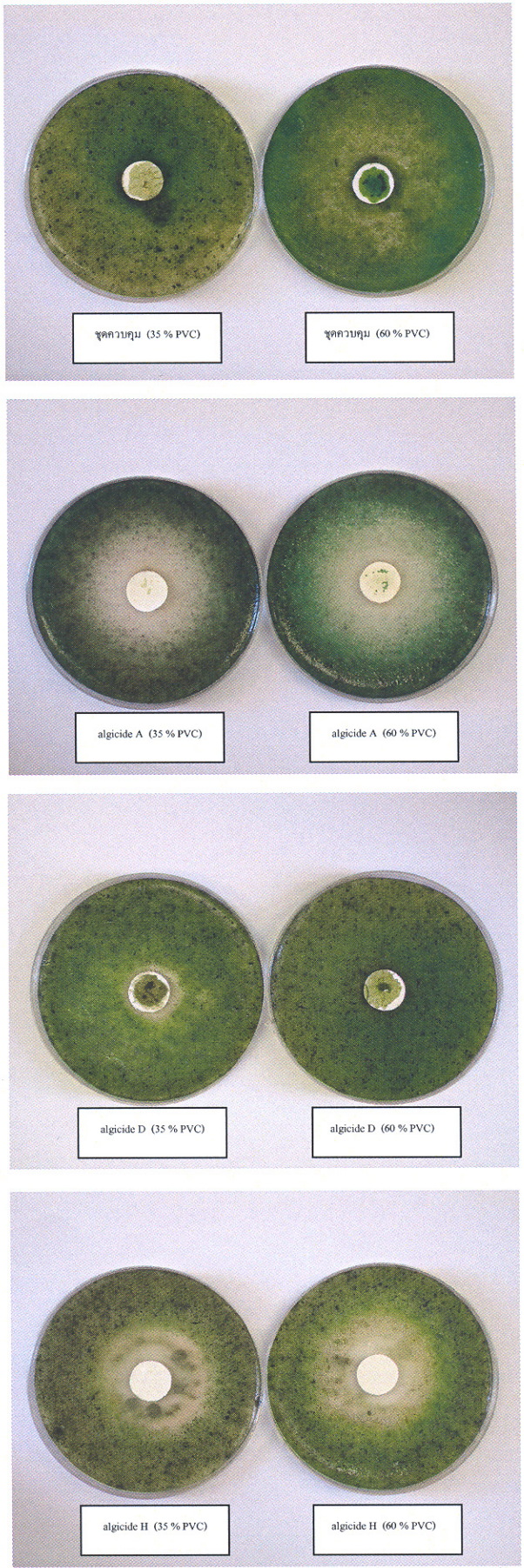
รูปที่ 15. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ไม่ผ่านการชะล้างในน้ำไหลและน้ำนิ่ง.



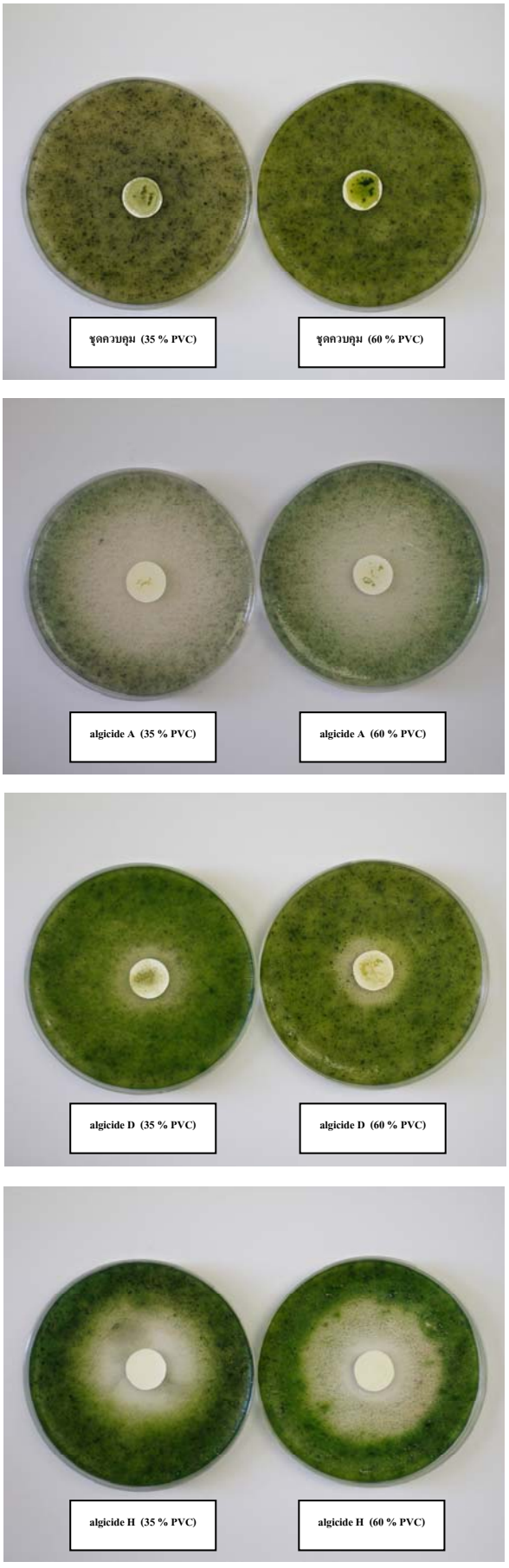
รูปที่ 16. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.



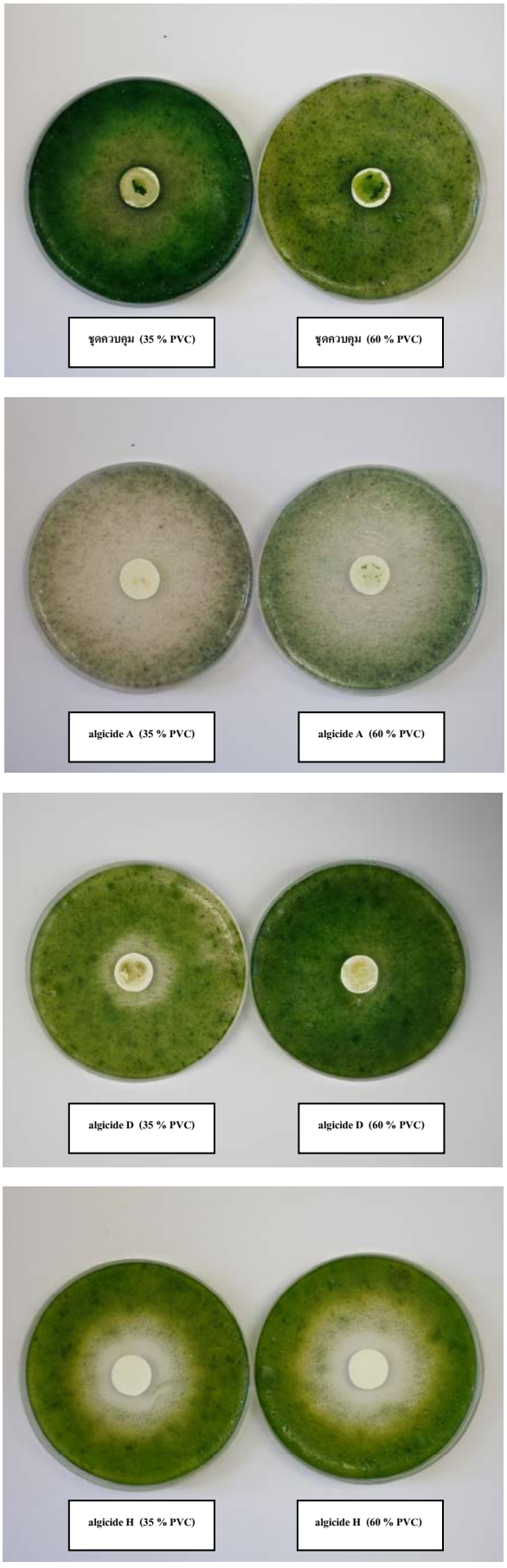
รูปที่ 17. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 48 ชั่วโมง.



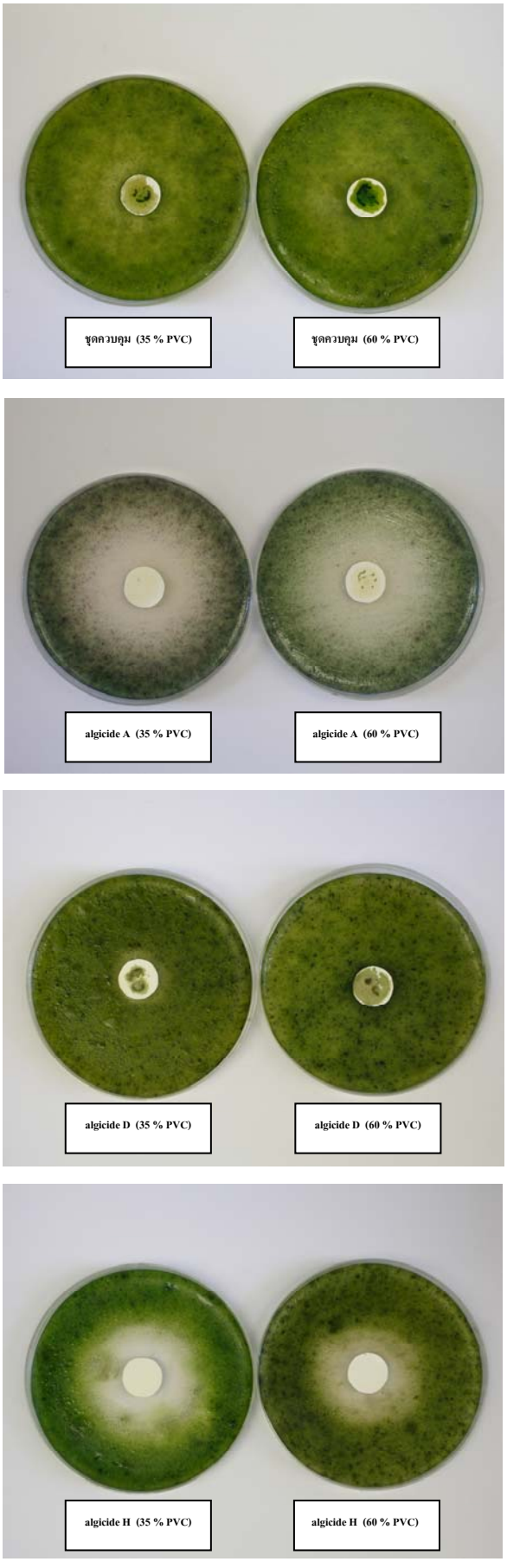
รูปที่ 18. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำไหล เป็นเวลา 72 ชั่วโมง.



รูปที่ 19. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.



รูปที่ 20. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง.



รูปที่ 21. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งผ่านการชะล้างในน้ำนิ่ง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง.

3.5.2 ผลการทดสอบระยะเวลาของความคงทนต่อการเร่งสภาวะ

จากผลการทดสอบ เมื่อนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายในรูปฟิล์มสีไปผ่านการเร่งสภาวะ และนำมาทดสอบด้วยวิธีผสมผสาน ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 12 และรูปที่ 22-28.

แผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะ และผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168, 336 และ 504 ชั่วโมง พบว่า มีขนาดของโซนใสลดลง ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 672, 840 และ 1008 ชั่วโมง พบว่า สารต้านสาหร่ายดังกล่าวสูญเสียประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168, 336, 504, 672, 840 และ 1008 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 22, 32, 43 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะทั้งหมดพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ซึ่งผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ (168-1008 ชั่วโมง) พบว่า สารต้านสาหร่ายดังกล่าวสูญเสียประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบ algicide A 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง 100 เปอร์เซ็นต์.

แผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลา 168 ชั่วโมง พบว่า มีขนาดของโซนใส 35.50 และ 16.09 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 336 ชั่วโมงขึ้นไป พบว่า สารต้านสาหร่ายดังกล่าวสูญเสียประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการ

เร่งสภาวะต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง 55 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 336-1008 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไม่เกิดโซนใส และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์) ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 336-1008 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

ส่วนแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ซึ่งผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ (168-1008 ชั่วโมง) พบว่า สารต้านสาหร่ายดังกล่าวสูญเสียประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide D 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์) ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168-336 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 504-1008 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (60-100 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะที่ระยะเวลาต่างๆ (168-1008 ชั่วโมง) พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168, 336, 504, 672, 840 และ 1008 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 23, 25, 27, 28,

36 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านและผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168-504 ชั่วโมง พบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย (0 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 672-1008 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์).

แผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168 ชั่วโมง พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และจากการสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบพบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย (0 เปอร์เซ็นต์) ส่วนแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 336 และ 504 ชั่วโมง พบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168 ชั่วโมง แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านเร่งสภาวะเป็นเวลา 672-1008 ชั่วโมง และเมื่อสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 336-504 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์) แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 672-840 ชั่วโมง พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 1008 ชั่วโมง พบว่า สารต้านสาหร่ายดังกล่าวสูญเสียประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้ไม่เกิดโซนใสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นอย่างมากบนแผ่นทดสอบ (60-100 เปอร์เซ็นต์) จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการเร่งสภาวะกับแผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะเป็นเวลา 168, 336, 504, 672, 840 และ 1008 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนอาหารวุ้นลดลง 26, 29, 31, 39, 51 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ.

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ลดลง ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเร่งสภาวะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ คือ แสง, อุณหภูมิ และความชื้น อย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของทั้งฟิล์มสีและสารต้านสาหร่ายที่

ผสมลงในสี การเสื่อมสภาพนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเร่งสภาวะ และยังพบว่า คุณภาพของสี (เปอร์เซ็นต์ PVC) มีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งมีความหนาแน่นของฟิล์มสีสูงและมีรูพรุนน้อยจะมีความคงทนต่อการเร่งสภาวะมากกว่าฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC).

ผลทดสอบการเร่งสภาวะที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพฟิล์มสีในอนาคต เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการติดตั้งแผงทดสอบประสิทธิภาพสีต่อการต้านสาหร่ายในพื้นที่ภาคต่างๆ หรือพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่แตกต่างที่อาจจะนำไปสู่การปรับปรุงเพื่อยกระดับคุณภาพสี รวมถึงมาตรฐานวิธีการทดสอบสีในอนาคต.

ตารางที่ 12. ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาของความคงทนของแผ่นทดสอบเมื่อผ่านเครื่องเร่งสภาวะ

การผ่านเครื่องเร่งสภาวะ[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. ระยะเวลา 0 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	44.32±1.28[4a](1)[5]	46.75±2.33[a] (3)	35.50±2.86[a] (2)	39.36±1.39[a] (2)	48.79±6.20[a] (0)	50.70±1.40[a] (0)
2. ระยะเวลา 168 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	34.61±1.82[b] (4)	-[b] (4)	16.09±3.30[b] (3)	-[b] (3)	37.68±2.27[b] (0)	37.73±3.84[b] (0)
3. ระยะเวลา 336 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	30.09±1.05[c] (4)	-[b] (4)	-[c] (4)	-[b] (3)	36.76±1.90[b] (0)	35.79±0.60[b] (2)
4. ระยะเวลา 504 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	25.46±0.70[d] (4)	-[b] (4)	-[c] (4)	-[b] (4)	35.66±5.77[b] (0)	35.19±1.21[b] (2)
5. ระยะเวลา 672 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	-[e] (4)	-[b] (4)	-[c] (4)	-[b] (4)	35.24±2.93[b] (2)	30.71±1.95[c] (3)
6. ระยะเวลา 840 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	-[e] (4)	-[b] (4)	-[c] (4)	-[b] (4)	31.17±3.23[b] (2)	24.67±2.87[d] (3)
7. ระยะเวลา 1008 ชั่วโมง	- (4)	- (4)	-[e] (4)	-[b] (4)	-[c] (4)	-[b] (4)	30.81±0.80[b] (2)	-[e] (4)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan' s multiple range test

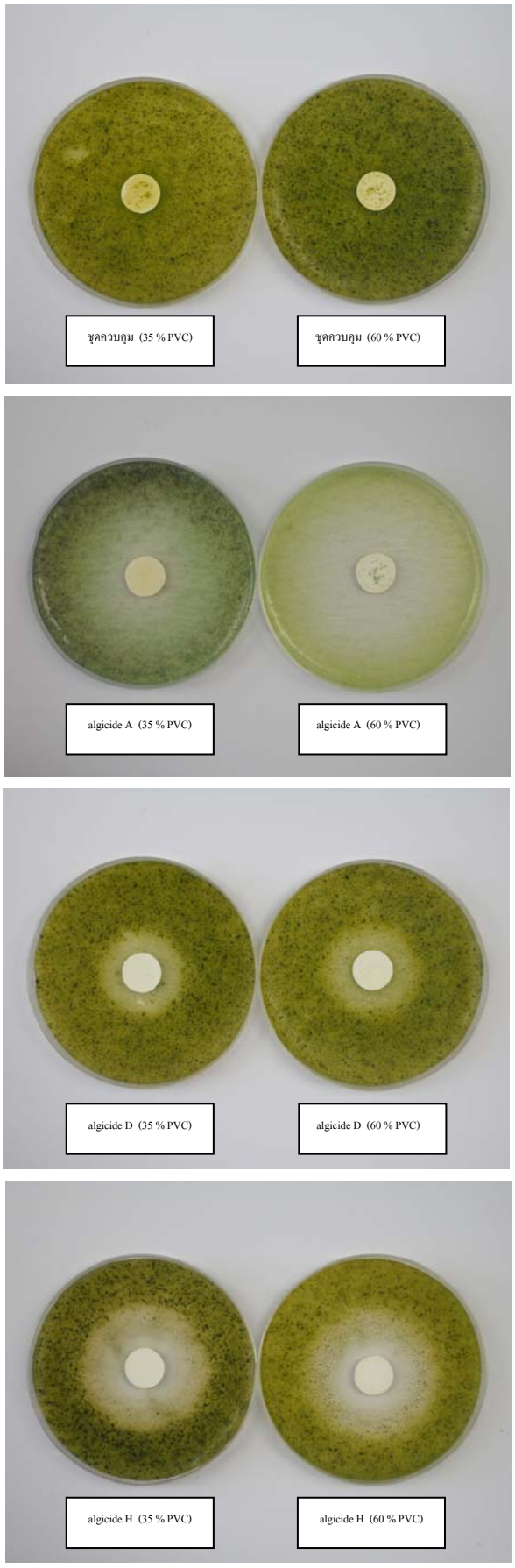
[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

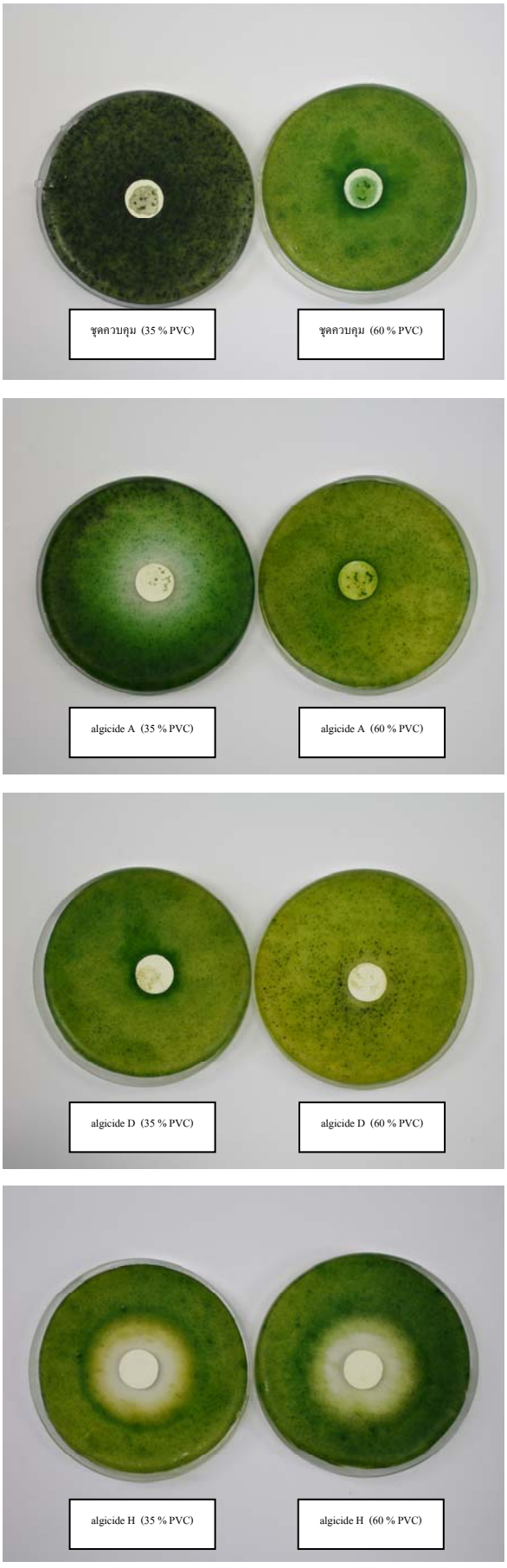
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 13. ผลการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

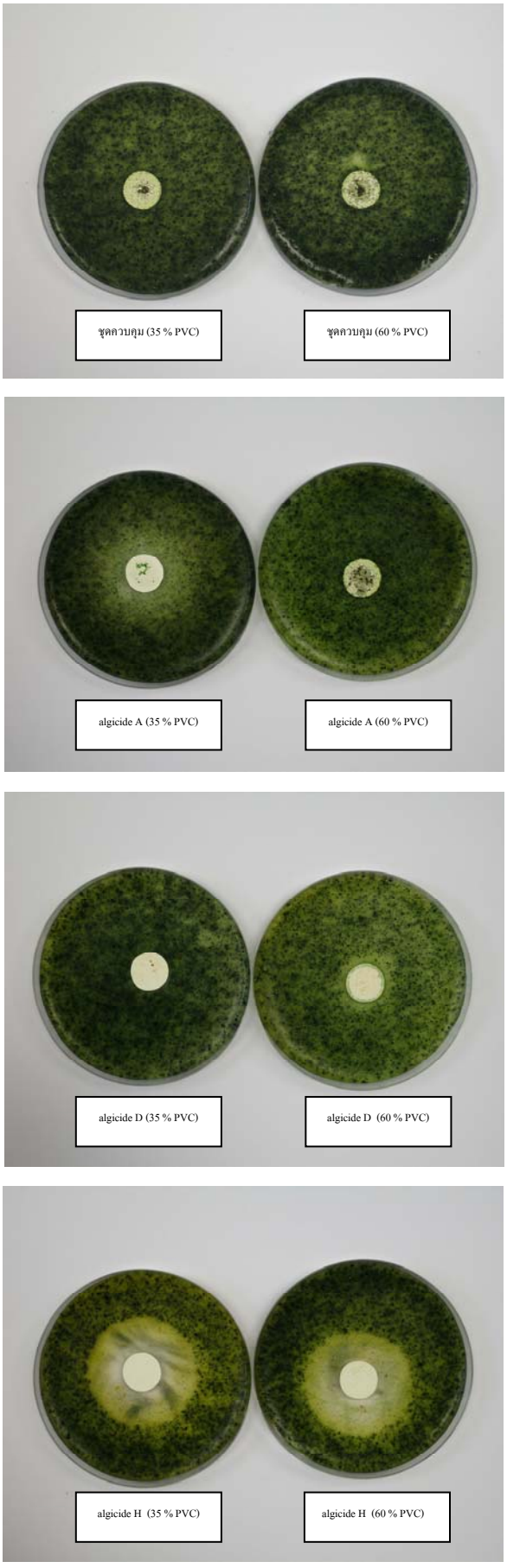
ความหนาของฟิล์มสี[1]	ชุดควบคุม	algicide A	algicide D	algicide H



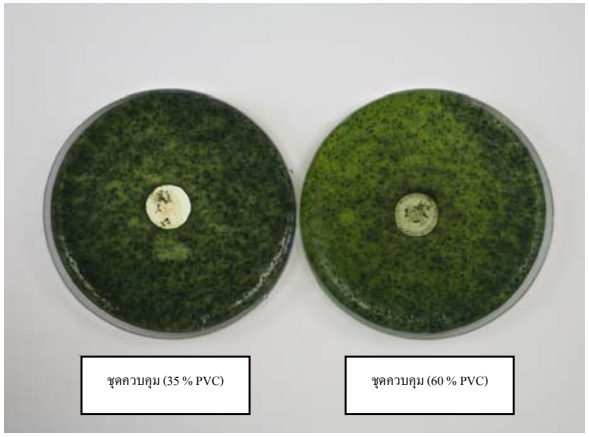
รูปที่ 22. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายซึ่งไม่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะ.

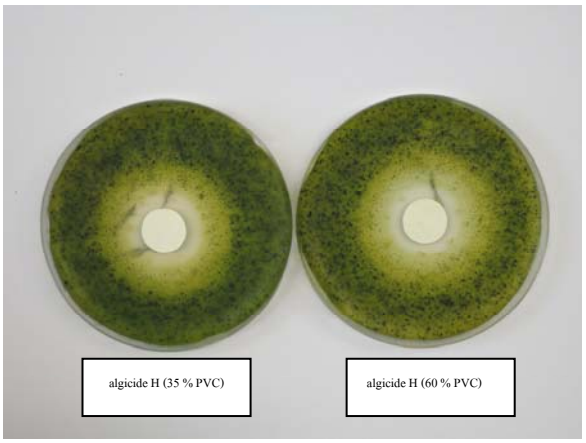


รูปที่ 23. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 168 ชั่วโมง.

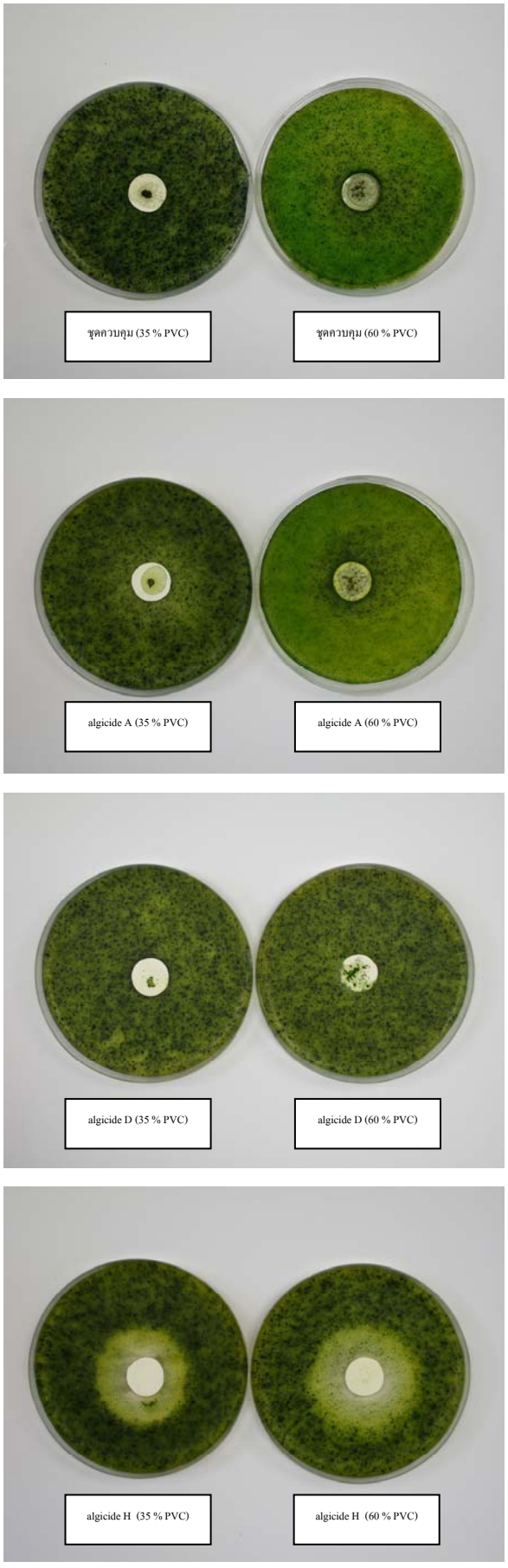


รูปที่ 24. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 336 ชั่วโมง.

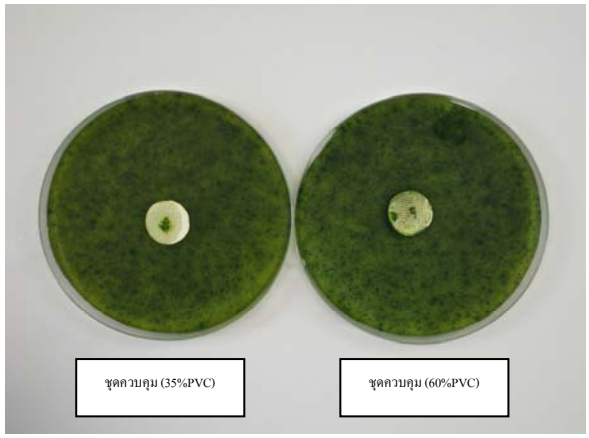


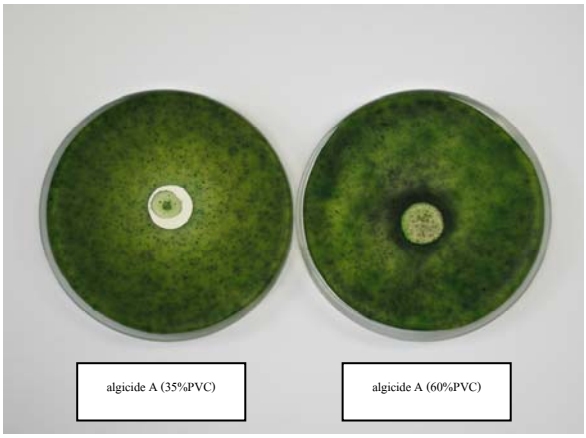


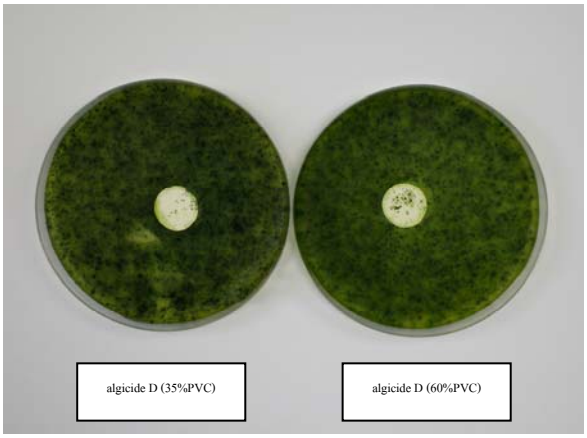
รูปที่ 25. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 504 ชั่วโมง.



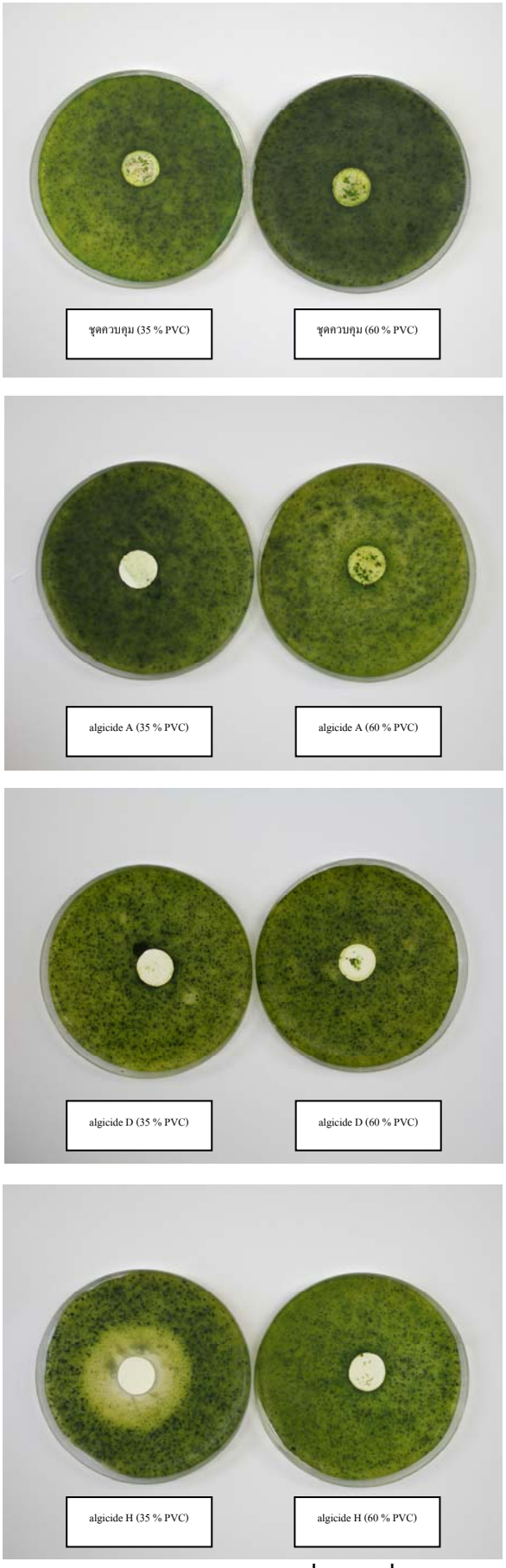
รูปที่ 26. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 672 ชั่วโมง.







รูปที่ 27. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 840 ชั่วโมง.



รูปที่ 28. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะที่ 1008 ชั่วโมง.

3.6 ผลการศึกษาความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

เมื่อนำแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยสารต้านสาหร่ายที่ความหนาของฟิล์มสี 200 ไมโครเมตร (เคลือบฟิล์มความหนา 100 ไมโครเมตร x 2 ครั้ง) และ 250 ไมโครเมตร (เคลือบฟิล์มความหนา 250 ไมโครเมตร x 1 ครั้ง) มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลดังแสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 29-30.

จากผลการทดสอบพบว่า แผ่นทดสอบ algicide A, algicide D และ algicide H ที่ความหนาของฟิล์มสี 200 ไมโครเมตร มีขนาดของโซนใสใหญ่กว่าที่ความหนา 250 ไมโครเมตร เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ความหนา 250 ไมโครเมตร มีความแข็งและหนาแน่นของฟิล์มสีมากกว่าทำให้สารแพร่หรือชะออกมาได้น้อยกว่า ส่งผลให้ขนาดของโซนใสที่ได้เล็กกว่าที่ความหนา 200 ไมโครเมตร แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติพบว่า ที่ความหนาของฟิล์มสีทั้ง 2 ระดับ ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$).

จากผลการทดสอบจึงทำการคัดเลือกที่ความหนาของฟิล์มสี 200 ไมโครเมตร เนื่องจากความหนาดังกล่าวเป็นสภาพการทดลองที่ดัดแปลงมาจากสภาพการทาสีจริง ซึ่งจะมีการทาอย่างน้อย 2 ครั้ง.

ตารางที่ 13. ผลการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

ความหนาของฟิล์มสี[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. ความหนา 200 ไมครอน	- (4)	- (4)	44.32±1.28[4a](1)[5]	46.75±2.33[a] (3)	35.50±2.86[a] (2)	39.36±1.39[a] (2)	48.79±6.20[a] (0)	50.70±1.40[a] (0)
2. ความหนา 250 ไมครอน	- (4)	- (4)	42.47±1.89[a] (1)	45.70±1.31[a] (4)	33.76±1.57[a] (1)	37.45±1.48[a] (2)	48.79±1.49[a] (0)	49.00±1.30[a] (0)

หมายเหตุ : [1] นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12 : 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

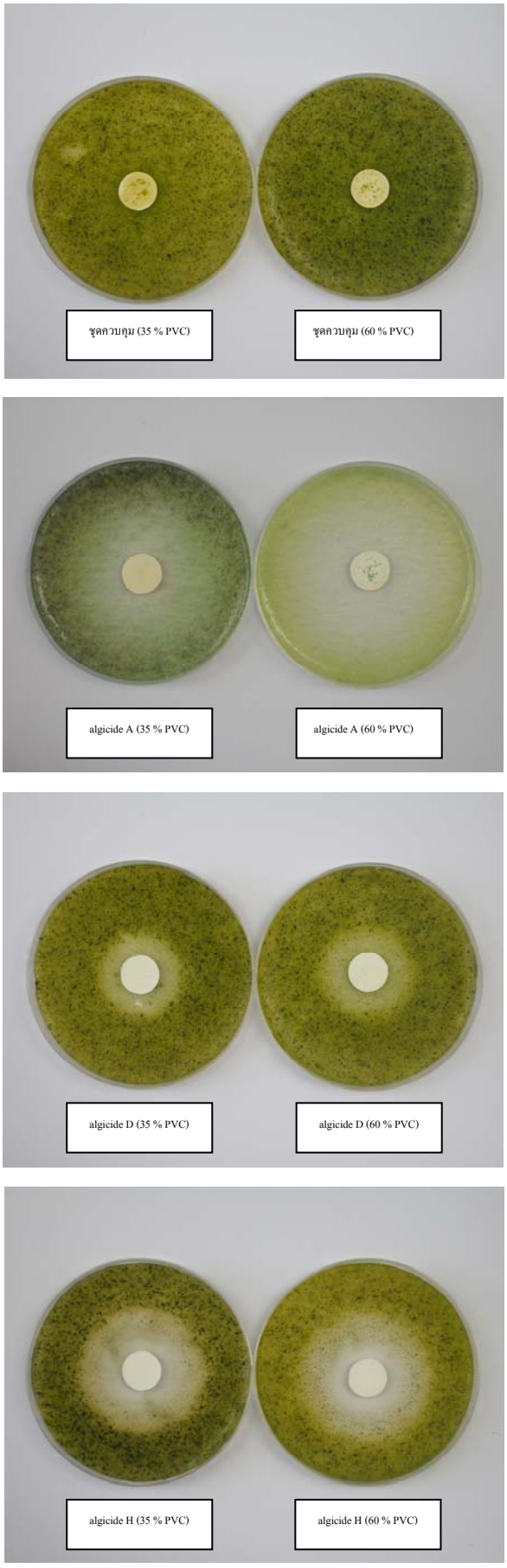
[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan's multiple range test

[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 29. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งมีความหนาของฟิล์ม 200 ไมครอน.

รูปที่ 30. ประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบซึ่งมีความหนาของฟิล์ม 250 ไมครอน.

3.7 ผลการทดสอบเพื่อหาวิธีการฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

เมื่อนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้ 1) ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ, 2) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมาที่ 35 กิโลเกรย์ และ 3) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาทดสอบด้วยวิธีผสมผสาน ผลดังแสดงในตารางที่ 14 และรูปที่ 31-33.

จากผลการทดสอบ แผ่นทดสอบ algicide A 35 เปอร์เซ็นต์ และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแกมมา แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ.

แผ่นทดสอบ algicide D 35 เปอร์เซ็นต์ และ 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแกมมา แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ.

แผ่นทดสอบ algicide H 35 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ผ่านการทดสอบทั้ง 3 วิธี พบว่า ขนาดของโซนใสที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่แผ่นทดสอบ algicide H 60 เปอร์เซ็นต์ PVC ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อพบว่า ขนาดของโซนใสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแกมมา แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ.

จากผลทดสอบดังกล่าวจึงเลือกการทดสอบแบบไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เนื่องจากสารต้านสาหร่ายทุกชนิดสามารถแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เต็มประสิทธิภาพกว่าแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 2 วิธี และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการเตรียมแผ่นทดสอบ.

ตารางที่ 14. ผลการเปรียบเทียบวิธีการฆ่าเชื้อที่มีต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

วิธีการทดสอบ[1]	ชุดควบคุม		algicide A		algicide D		algicide H	
	35 เปอร์เซ็นต์ PVC[2]	60 เปอร์เซ็นต์ PVC[3]	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC	35 เปอร์เซ็นต์ PVC	60 เปอร์เซ็นต์ PVC
1. ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	- (4)	- (4)	44.32±1.28[4a](1)[5]	46.75±2.33[a] (3)	35.50±2.86[a] (2)	39.36±1.39[a] (2)	48.79±6.20[a] (0)	50.70±1.40[a] (0)
2. ฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา	- (4)	- (4)	43.40±0.19[a] (2)	42.53±0.62[ab](4)	30.26±4.44[a] (2)	39.44±0.29[a] (1)	49.31±0.61[a] (0)	51.18±1.11[a] (0)
3. ฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ	- (4)	- (4)	39.99±1.42[b] (1)	31.85±0.91[b] (3)	27.11±1.12[b] (2)	27.25±0.88[b] (2)	48.93±1.75[a] (0)	31.85±0.91[b] (0)

หมายเหตุ : [1]นำแผ่นทดสอบที่เคลือบสารต้านสาหร่ายมาทดสอบกับสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม และนำมาบ่มในตู้ควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง = 12: 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ซ้ำ

[2]35 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นคุณภาพ

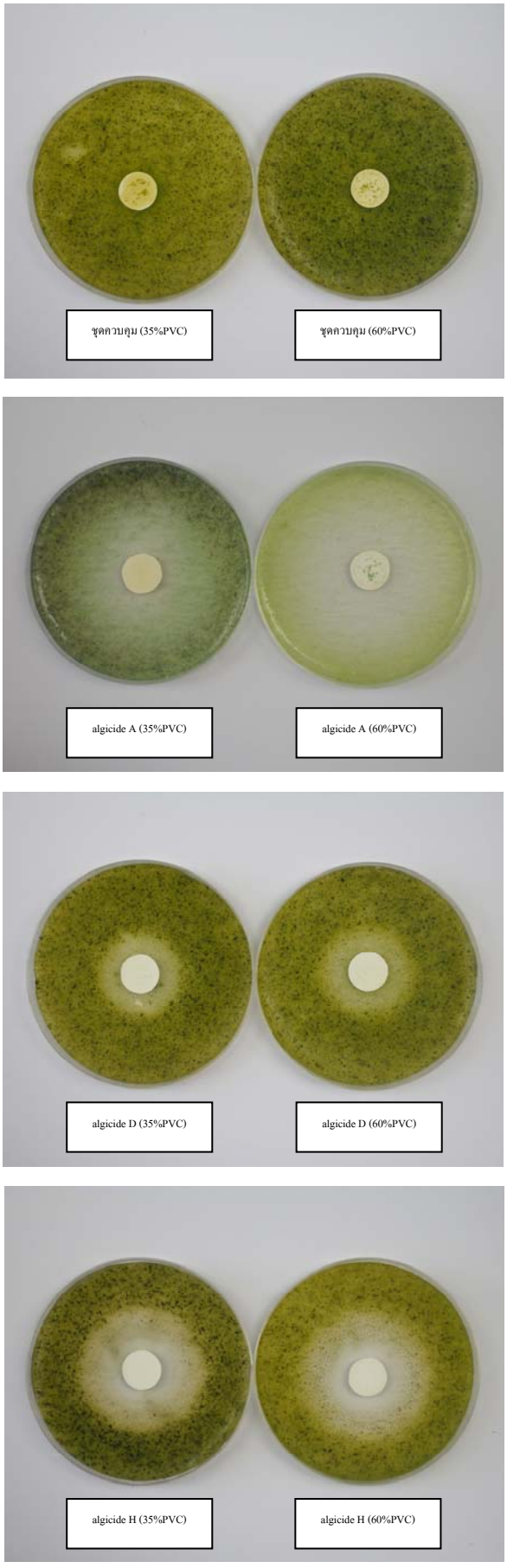
[3]60 เปอร์เซ็นต์ PVC เป็นสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC สูง (pigment volume concentration) จัดเป็นฟิล์มสีชั้นทั่วไป

[4]ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ของขนาดโซนใสที่วัดได้จำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตามหลังเหมือนกันในแนวตั้ง แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Duncan' s multiple range test

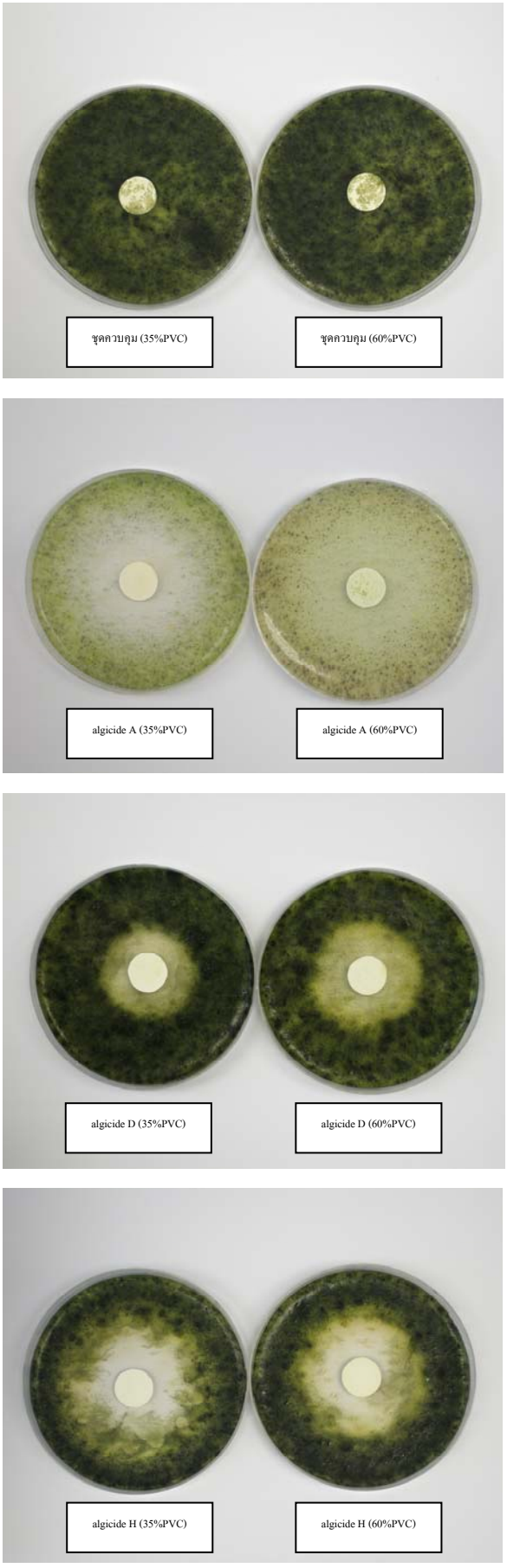
[5]ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยดูจากสภาพการเจริญของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ (ASTM D5589-97) ดังนี้

0 = ไม่พบการเจริญของสาหร่าย 1 = เจริญได้น้อยมาก (<10 เปอร์เซ็นต์) 2 = เจริญได้เล็กน้อย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

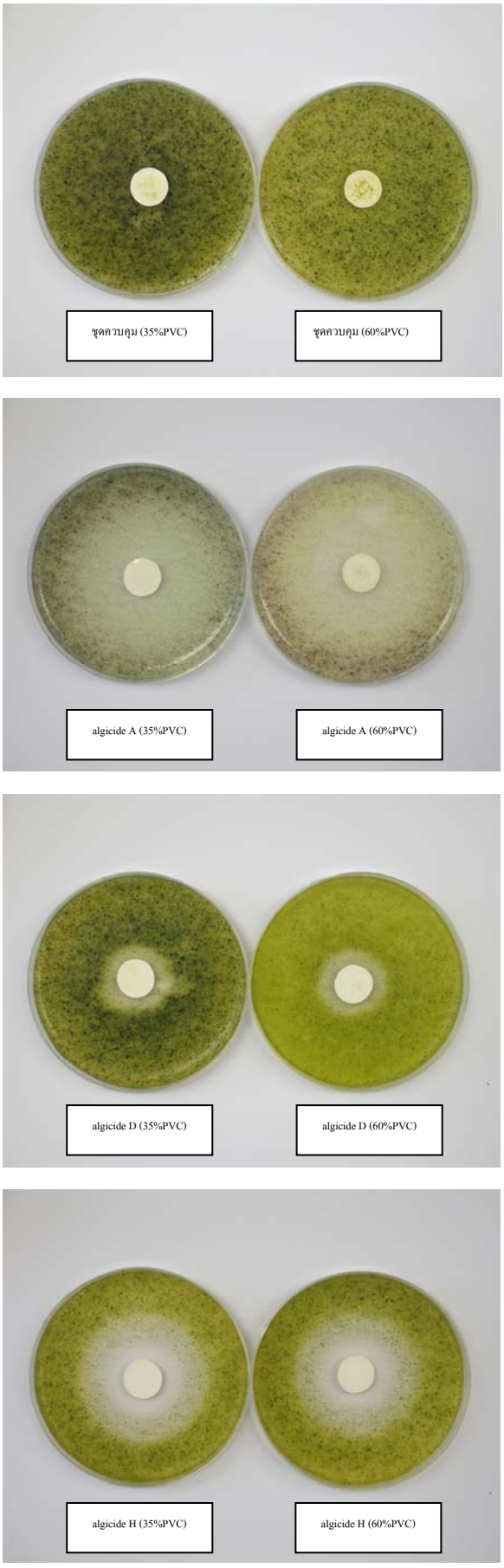
3 = เจริญได้ปานกลาง (30-60 เปอร์เซ็นต์) 4 = เจริญได้มาก (60-100 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 31. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ.



รูปที่ 32. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา.



รูปที่ 33. ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำ.

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการคัดเลือกสารต้านสาหร่ายเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการทดสอบ ได้ 3 ชนิด จาก 8 ชนิด คือ 1) algicide A ที่ความเข้มข้น 700 ppm, 2) algicide D ที่ความเข้มข้น 1,500 ppm และ 3) algicide H ที่ความเข้มข้น 2,500 ppm จากนั้น นำสารต้านสาหร่ายดังกล่าวมาทดสอบเพื่อคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ 3 วิธีการ คือ agar diffusion, ASTM D 5589-97 และวิธีผสมผสาน (agar diffusion+ASTM D 5589-97) พบว่า วิธีผสมผสาน เป็นวิธีทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้ระยะเวลาเท่ากับวิธีอื่น แต่สามารถศึกษาได้ทั้งประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและความยากง่ายต่อการถูกชะล้างได้ในเวลาเดียวกัน จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบ.

ผลการศึกษาความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 2,000, 4,000 และ 6,000 ลักซ์ พบว่า ที่ความเข้มแสงที่ 2,000-4,000 ลักซ์ มีสภาพเหมาะสม เนื่องจากสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเทียบกับชุดควบคุมและเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าในการทดสอบ.

ส่วนผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบ่มเชื้อทดสอบในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 4 ระยะ คือ 2, 3, 4 และ 8 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะ 4 สัปดาห์ มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบและในอาหารวุ้นได้ง่าย รวมทั้งเป็นการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบซึ่งใช้เวลาเท่ากับหรือใกล้เคียงกับวิธีทดสอบของบริษัทสีต่างๆ.

ผลการศึกษาความหนาของฟิล์มสีที่มีต่อประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบ แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 200 ไมโครเมตร (เคลือบฟิล์มความหนา 100 ไมโครเมตร 2 ครั้ง) และ 250 ไมโครเมตร (เคลือบฟิล์มความหนา 250 ไมโครเมตร 1 ครั้ง) พบว่า ที่ความหนาของฟิล์มสี 200 ไมโครเมตร มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากความหนาดังกล่าวเป็นสภาพการทดลองที่ดัดแปลงมาจากสภาพการทาสีจริง ซึ่งจะมีการทาอย่างน้อย 2 ครั้ง.

ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกวิธีการฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้ 1) ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ, 2) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา และ 3) ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ พบว่า แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อเป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากสารต้านสาหร่ายทุกชนิดสามารถแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เต็มประสิทธิภาพกว่าแผ่นทดสอบที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 2 วิธี และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการเตรียมแผ่นทดสอบ.

ผลการศึกษาสภาพทางกายภาพที่ใช้ร่วมกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำไหลและน้ำนิ่งพบว่า การชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่งเป็นวิธีเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสภาพการชะล้างแผ่นทดสอบในน้ำนิ่งมีความรุนแรงน้อยกว่าการชะล้างในน้ำไหล และเลือกระยะเวลาที่ 48 ชั่วโมง เนื่องจากสารต้านสาหร่ายที่ผ่านการชะล้างเริ่มคงตัวที่ 48 ชั่วโมง รวมทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบเมื่อเทียบกับระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่วนผลการทดสอบระยะเวลาของความคงทนต่อการเร่งสภาวะ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งสภาวะ QUV ที่ระยะเวลาต่างๆ กับแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการเร่งสภาวะ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพบว่า แผ่นทดสอบที่ผ่านการเร่งสภาวะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านการเร่งสภาวะอย่างเห็นได้ชัด ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีทดสอบนี้ยังไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวิธีมาตรฐานในขณะนี้ เนื่องจากยังไม่สามารถประเมินเปรียบเทียบผลกับสภาพการทดลองในภาคสนามหรือสภาพการใช้งานจริงในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งต้องใช้เวลานานในการสะสมและรวบรวมข้อมูล.

สรุปผลการจัดทำวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยวิธีทดสอบที่วิจัยและจัดทำขึ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ มอก. 2321-2549 โดยได้ออกเป็นประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3583 (พ.ศ. 2549) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ลงนามโดย นายโฆษิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2549 และได้รับการประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 124 ตอนที่ พิเศษ 40 ง. เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2550.

ขณะนี้ ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) เดิม ปัจจุบันฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้เปิดให้บริการทดสอบแก่อุตสาหกรรมผู้ผลิตสีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ผู้สนใจใช้บริการเพื่อขึ้นทะเบียนมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว และหากภาคอุตสาหกรรมมีข้อคิดเห็นประการใดที่ต้องการให้มีการปรับปรุงวิธีการทดสอบให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น สามารถเสนอต่อ สมอ. ให้ทำการทบทวนได้ทุกรอบ 5 ปี.

ตารางที่ 15. สรุปผลการจัดทำวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

การทดลอง	เสนอโดย วว. ต่อ สมอ. ในการจัดทำร่างฉบับที่ 1[1]	ข้อคิดเห็นจากสมาคมอุตสาหกรรมผู้ผลิตสี ต่อร่างฉบับที่ 1	ร่างฉบับที่ 2 ที่สมอ. ปรับแก้ไข[2]
1. วิธีทดสอบ - วิธี Agar diffusion - วิธี ASTM D 5589-97 - วิธีผสมผสาน (Agar diffusion+ASTM)	วิธีผสมผสาน	-	วิธีผสมผสาน
2. ความเข้มแสงในการบ่มเชื้อ - 2,000 ลักซ์ - 4,000 ลักซ์ - 6,000 ลักซ์	2,000 ลักซ์	-	2,000 ลักซ์
3. ระยะเวลาในการบ่มเชื้อ - 2 สัปดาห์ - 3 สัปดาห์ - 4 สัปดาห์ - 8 สัปดาห์	4 สัปดาห์	-	4 สัปดาห์
4. ความหนาของฟิล์มสี - 200 ไมโครเมตร (100 ไมโครเมตรx2 ครั้ง) - 250 ไมโครเมตร (250 ไมโครเมตรx1ครั้ง)	200 ไมโครเมตร ทาสี 1 ด้าน 2 ครั้ง วางไว้เป็นเวลา 7 วัน	200 ไมโครเมตร ทาสี 2 ด้าน 2 ครั้ง วางไว้เป็นเวลา 14 วัน	200 ไมโครเมตร ทาสี 2 ด้าน 2 ครั้ง วางไว้เป็นเวลา 14 วัน
5. การฆ่าเชื้อแผ่นทดสอบ - ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ - ฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา ที่ 35 กิโลเกรย์ 3 ชั่วโมง - ฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส 1 นาที	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	-	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ
6.การชะล้างแผ่นทดสอบ - น้ำไหลที่ 24, 48, 72 ชั่วโมง - น้ำนิ่งที่ 24, 48, 72 ชั่วโมง	น้ำนิ่งที่ 48 ชั่วโมง	น้ำนิ่งที่ 48 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง	น้ำนิ่งที่ 48 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง
7. การเร่งสภาวะแผ่นทดสอบ - 168 ชั่วโมง - 336 ชั่วโมง - 504 ชั่วโมง - 672 ชั่วโมง - 840 ชั่วโมง - 1004 ชั่วโมง	เสนอผลการทดลองให้พิจารณา	ไม่รับ	ยังไม่บรรจุในร่างวิธีทดสอบมาตรฐาน

หมายเหตุ : [1]ภาคผนวกที่ 3

[2]ภาคผนวกที่ 4 (ลงนามโดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมแล้ว อยู่ระหว่างรอประกาศในราชกิจจานุเบกษา)

5. เอกสารอ้างอิง

กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2549. ออนไลน์ : http://www.ops2.moc.go.th/trade/trade_exp.html

ทัดแก้ว, นิชนันท์., มหาขันธ์, อาภารัตน์., สูยะนันท์, พวงเพ็ญ และพันธุมนาวิน, ณัฐพร. 2539. การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายมาตรฐานเพื่อทดสอบความทนทานของสี สารเคลือบผิว และวัสดุที่เกี่ยวข้อง. *ใน* วิจัยสภาวะแวดล้อม 18(**1**) มกราคม-มิถุนายน 2539.

อือนอก, นัทธ์หทัย. 2546. สรุปบทวิจัยอุตสาหกรรมสี. บทวิจัยอุตสาหกรรมและธุรกิจ. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและวางแผน, ไทยธนาคาร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2525. มาตรฐานวิธีทดสอบสีวาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้องที่ทนทานต่อเชื้อรา มาตรฐานเลขที่ มอก. 285 เล่ม 21-2525, กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

American Standards for Testing and Material (ASTM). 1997. Standard Test Method for Determining The Resistance of Paint Films and Related Coating to Algal Refacement (D 5589-97), United States. pp. 634-637.

American Standards for Testing and Material (ASTM). 2001. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials (G154-00a), United States. pp. 632-641.

Singapore Institute of Standards. 1990. Specification for Algae Resistant Emulsion Paint for Decorative SS345. Singapore : Singapore Institute of Standards and Industrial Research. pp. 1-13.

Schülke and Mayr. 1995. S & M-test Methods SM-023. Germany. pp. 6-8.

Stainer, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazize, G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chlorococcales). *Bact. Rev*., 35, pp. 171-205

Sripleng, A. 1995. Diversity of Plants on the Brick Monuments. The Third International Conference on Biodeterioration of Cultural Property. Bangkok, Thailand. pp. 341-352.

Wee, Y.C. and Lee, K.B. 1980. Proliferation of algae on surfaces of building in Singapore. *Int. Biod. Buli*. 16(**4**), pp. 113-117.

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

[Online]. Available : http://www.brueggemann.com/fileadmin/user_upload/chemical_ic/downloads/ZnO-for-Paints.pdf, [accessed 17 September 2010].

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

อาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร BG–11 (Stainer *et al.* 1971)

$NaNO_3$	1.500	กรัม
$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	0.040	กรัม
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.075	กรัม
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.036	กรัม
Citric acid	0.006	กรัม
Ferric ammonium citrate	0.006	กรัม
Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), disodium magnesium salt	0.001	กรัม
Na_2CO_3	0.020	กรัม
Trace metal mix A5	1.0	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1	ลิตร

Trace metal mix A5 :

H_3BO_3	2.860	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	1.810	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.222	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.390	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.079	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0.049	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
pH 7.4		

หมายเหตุ : [1]กรณีที่เป็นอาหารแข็งให้เติมวุ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์

[2]ละลายส่วนประกอบข้างต้นในน้ำกลั่น แล้วนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ภาคผนวก 2

สารต้านสาหร่ายที่ใช้ในการทดสอบ

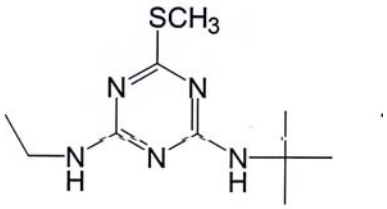
1. Terbutyrn

สูตรเคมี 2-Methylthio-4-tert.-butylamino-6-cyclopropylamino-s-triazin

สูตรโมเลกุล $C_{11}H_{19}N_5S$

CAS-No. 886-50-0

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร สามารถยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งสาหร่ายในช่วงกว้างทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ยีสต์และราได้

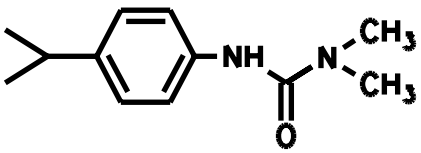
2. Isoproturon

สูตรเคมี 3-(4-Isopropylphenyl)-1,1dimethylurea

สูตรโมเลกุล $C_{12}H_{18}N_2O$

CAS-No. 34123-59-6

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้ง โดยสารชนิดนี้สามารถยับยั้งการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายได้

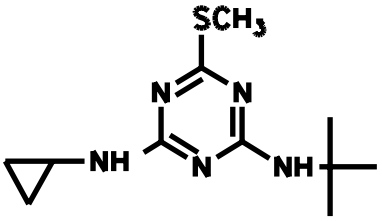
3. Cybutryn

สูตรเคมี 2-Methylthio-4-cyclopropylamino-6-tert.-butylamino-triazin-1,3,5 (Mctt, Irgarol)

สูตรโมเลกุล $C_{11}H_{19}N_5S$

CAS-No. 28159-98-0

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

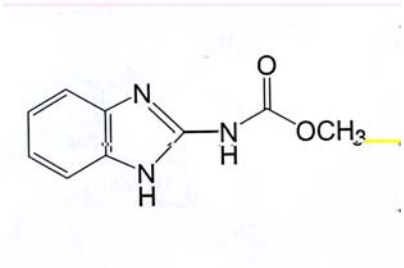
4. Carbendazim

สูตรเคมี Methyl-N-benzimidazol-2-ylcarbamate

สูตรโมเลกุล $C_9H_9N_3O_2$

CAS-No. 10605-21-7

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและยีสต์ โดยมีผลต่อการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ

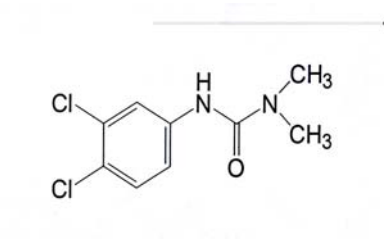
5. Dimethyl urea

สูตรเคมี N’-(3-4-dichlorophenyl)-N,N-dimethyl urea

สูตรโมเลกุล $C_9H_{10}Cl_2N_2O$

CAS-No. 330-54-1

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งสาหร่ายในช่วงกว้างทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยสารชนิดนี้สามารถยับยั้งการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายได้

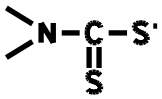
6. Zinc dimethyl dithiocarbamate

สูตรเคมี Zinc dimethyl dithiocarbamate

สูตรโมเลกุล $C_6H_{12}N_2S_4Zn$

CAS-No. 15465-14-2

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ เชื้อรา, ยีสต์, แบคทีเรีย และสาหร่าย ได้ครอบคลุมในช่วงกว้าง มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ไม่ระเหยกลายเป็นไอ และทนความร้อน

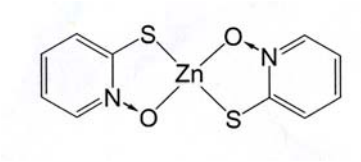
7. Zinc pyrithion

สูตรเคมี Zinc-bis-(2-pyridine-thiol-1-oxide)

สูตรโมเลกุล $C_{10}H_8N_2O_2S_2Zn$

CAS-No. 13463-41-7

สูตรโครงสร้าง



คุณสมบัติของสาร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย, เชื้อรา, ยีสต์ โดยส่วนใหญ่สาร Zinc pyrithion มักใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางต่างๆ เช่น แชมพูขจัดรังแค ส่วนในอุตสาหกรรมสีมักนิยมใส่ในสีลาเท็กซ์ สีอิมัลชัน เป็นต้น และผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ต้องบรรจุกระป๋อง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา

สมอ./กว.157(2)/4
15 ธันวาคม 2548

ห้ามใช้หรือยึดถือร่างนี้เป็นมาตรฐาน
มาตรฐานฉบับสมบูรณ์จะมีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ร่าง
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

WEATHER RESISTANCE EMULSION PAINT

สำหรับเวียนขอข้อคิดเห็นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3334-5

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 157
มาตรฐานสีที่ใช้ในการก่อสร้างและตกแต่ง

ประธานกรรมการ	
นางวันทนา สะสมทรัพย์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กรรมการ	
นายเขมชิต ธนากิจชาญเจริญ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายสุชาติ ตรีสัตยพันธ์	กรมโยธาธิการและผังเมือง
นายสุรพล หุตะเศรณี	กรุงเทพมหานคร
นายประเสริฐ อย่างธารา	สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์
นายวรุตม์ กี่จนา	การรถไฟแห่งประเทศไทย
นางรัตน์จนา เจริญพิทยา	บริษัท สี ไอ ซี ไอ (ประเทศไทย) จำกัด
นางสาวเกศริน โทวนิช	บริษัท โจตันไทย จำกัด
นายพรชัย เลิศอำนวยพร	บริษัท สีชิกม่า (ประเทศไทย) จำกัด
นายอมรชัย ไตรคุณากรวงศ์	
นายไสว เกิดเกียรติขจร	บริษัท บางกอกไชน่าเพ้นท์ จำกัด
นายประสิทธิ์ วงศ์วัฒนารัตน์	บริษัท อุตสาหกรรมสีสยาม จำกัด
นางสาวบัญชรี มณีดิษฐ์	บริษัท ที โอ เอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด
นางพัชรี พัฒนาสิทธิเสรี	
กรรมการและเลขานุการ	
นางนฤมล วาณิชย์เจริญ	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศขึ้นได้เองภายในประเทศ และมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้และเพื่อส่งเสริมให้มีการทำสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศที่มีคุณภาพ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นเล่มหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีอิมัลชัน ได้แก่

มอก.272-2549	สีอิมัลชันใช้งานทั่วไป
มอก. -2549	สีอิมัลชันทนต่อสภาวะอากาศ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากผู้ทำในประเทศและเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

SS 345 : 1990	Algae Resistant Emulsion paints for Decorative Purposes
ASTM D 4213-96	Standard Test Method for Scrub Resistance of Paints by Abrasion Weight Loss
ASTM G 154-00	Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials
BS 4800-1989	Schedule of Paint Colours for Building Purposes
มอก.285	วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง
เล่ม 1-2521	การชักตัวอย่าง
เล่ม 2-2521	การตรวจและการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ
เล่ม 3-2521	แผ่นทดสอบและการเตรียม
เล่ม 4-2521	การเคลือบ
เล่ม 8-2524	การหาความละเอียด
เล่ม 9-2524	การทดสอบการแห้งที่ผิวโดยใช้ลูกแก้ว
เล่ม 10-2524	การทดสอบระยะเวลาเมื่อแห้งแข็ง
เล่ม 11-2524	ภาวะในภาชนะบรรจุ
เล่ม 12-2524	เสถียรภาพต่อการเก็บ
เล่ม 14-2524	การหาความหนืด
เล่ม 15-2524	การเทียบสีด้วยตา
เล่ม16-2524	การเปรียบเทียบ อัตราส่วนความผิดแผกของสีประเภทเดียวกันที่มีสีเหมือนกัน
เล่ม 18-2525	ความคงทนต่อแสง
เล่ม 19-2525	ความทนทานต่อการดัดโค้ง
เล่ม 20-2525	ความทนทานต่อการเช็ดล้าง
เล่ม 21-2525	ความทนทานต่อเชื้อรา
เล่ม 22-2525	ความทนน้ำ
เล่ม 23-2525	ความทนของเหลว

เล่ม 24-2525	สมบัติในการใช้งาน
เล่ม 27-2526	การหาปริมาณตะกั่วในสี
เล่ม 28-2526	การหาปริมาณปรอทในสี
มอก.28-2526	สบู่ซักล้าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศที่แห้งได้เองในอากาศ ใช้สำหรับเคลือบภายนอกและภายในอาคาร

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "สีอิมัลชัน" หมายถึง สีที่มีสิ่งนำสีเป็นอิมัลชันของสารยึดกับน้ำ สำหรับใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อสภาวะอากาศ อาจเรียกชื่ออื่นว่า สีลาเท็กซ์ (latex paint) หรือสีเรซินอิมัลชัน (resin emulsion paint) หรือสีน้ำพลาสติก

3. ประเภท

3.1 สีอิมัลชัน แบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน คือ

3.1.1 สีภายนอก ใช้สำหรับเคลือบทั้งภายนอกและภายในอาคาร

3.1.2 สีภายใน ใช้สำหรับเคลือบเฉพาะภายในอาคาร

4. ส่วนประกอบ

4.1 ส่วนประกอบที่ใช้ในสีอิมัลชันต้องไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนี้

4.1.1 ต้องมีปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ไม่เกิน 50 กรัมต่อลิตร

4.1.2 ต้องไม่มีโลหะหนักหรือสารประกอบของโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู แต่อาจมีโลหะหนักปนเปื้อนได้ตามปริมาณที่กำหนดในมาตรฐาน

4.1.3 ต้องไม่ใช้สารแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวทำละลาย โดยยอมให้มีการปนเปื้อนได้ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

4.1.4 ต้องไม่ใช้ตัวทำละลายแฮโลจิเนเตด

4.1.5 ต้องไม่ผสมฟอร์มาลดีไฮด์

หมายเหตุ ผู้ทำต้องแสดงรายงานผลการทดสอบ หรือเอกสารรับรองว่าไม่ใช้ส่วนประกอบดังกล่าวต่อสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 คุณลักษณะทางปริมาณ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางปริมาณ

(ข้อ 5.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ความละเอียด ไมโครเมตร ไม่เกิน	60	มอก.285 เล่ม 8
2	ระยะเวลาที่สีแห้ง		ข้อ 9.2
	- แห้งที่ผิว นาที ไม่เกิน	30	
	- แห้งแข็ง ชั่วโมง ไม่เกิน	2	
3	กำลังซ่อนแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	90	มอก.285 เล่ม 16
4	ตะกั่ว ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 27
5	ปรอท ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 28

หมายเหตุ *1. ให้ยกเว้นการทดสอบกำลังซ่อนแสงสำหรับสีซึ่งไม่มีสีขาวเป็นส่วนผสม เช่น*

- สีแดง ตาม BS 4800 หมายเลข 04 E 53

- สีเหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 10 E 53

- สีน้ำเงิน ตาม BS 4800 หมายเลข 18 C 39

- สีดำ ตาม BS 4800 หมายเลข 00 E 53

- สีเหลือง-แดง ตาม BS 4800 หมายเลข 06 E 51, 08 E 51

- สีเขียว-เหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 12 E 51, 12 E 53

2. การทดสอบกำลังซ่อนแสงให้ทดสอบตัวอย่างที่มีความข้นเหลวไม่เกิน 100 หน่วยเครบส์ ในกรณีที่ตัวอย่างมีความข้นเหลวเกิน 100 หน่วยเครบส์ ให้เติมน้ำจนตัวอย่างมีความข้นเหลว 100 ± 2 หน่วยเครบส์

การวัดความข้นเหลวให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 14

5.2 สี (colour)

สีของฟิล์มให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากหรือตามข้อตกลงระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่ชื่อสีตรงกับสีตาม BS 4800 สีของฟิล์มที่ได้ต้องเทียบได้กับแถบสีตามมาตรฐานดังกล่าว

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 15

5.3 ภาวะในภาชนะบรรจุ

สีในภาชนะบรรจุที่เปิดใหม่ต้องไม่ปรากฏสนิมและกลิ่นที่น่ารังเกียจ และเมื่อคนจนทั่วแล้วต้องไม่มีก้อนและผงหยาบ และอาจมีฟองได้เล็กน้อย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 11

5.4 เสถียรภาพต่อการเก็บ

เมื่อนำสีที่ผลิตมาแล้วเป็นเวลา 1 ปี มาทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีต้องไม่ข้นแข็ง ไม่จับกันเป็นก้อน ไม่เป็นวุ้น ไม่เป็นเม็ด ไม่เป็นวุ้นเหนียว ไม่มีกลิ่นที่เกิดจากการบูดเน่า ไม่มีก๊าซเกิดขึ้น และเมื่อคนจนทั่วแล้วสีจะต้องไม่นอนก้นและไม่แยกชั้น

5.5 เสถียรภาพต่อการเก็บที่อุณหภูมิสูง

เมื่อทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีต้องไม่เป็นก้อนและฝา ไม่นอนก้น ไม่เปลี่ยนสี และสามารถปรับหรือลดความหนืดให้เหมาะสมเพื่อใช้เคลือบได้

5.6 สมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง

5.6.1 การเคลือบด้วยแปรงและลูกกลิ้ง

ต้องเคลือบได้ง่าย เรียบ และส่วนที่ทับกันต้องสม่ำเสมอตลอด

5.6.2 การเคลือบทับ

เมื่อเคลือบสีทับพื้นผิวที่เคลือบสีนั้นไว้ 1 ครั้งเมื่อ 2 ชั่วโมงก่อน แล้วปล่อยให้ฟิล์มสีแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในห้องทดลอง สีที่เคลือบทับต้องไม่ดึงหรือม้วนสีที่เคลือบไว้เดิม

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

5.7 ความทนทานต่อการดัดโค้ง

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.4 แล้ว แผ่นฟิล์มต้องไม่แตกร้าว กะเทาะหรือล่อนเป็นแผ่น

5.8 ความทนทานต่อเชื้อรา

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 แล้ว ต้องไม่พบเชื้อราใด ๆ บนแผ่นฟิล์มในบริเวณที่ตีกรอบไว้

5.9 ความทนทานต่อสาหร่าย

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 แล้ว ต้องไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย

5.10 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.7 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่ด้อยกว่าฟิล์มของสีมาตรฐานที่ยอมรับ ในคุณลักษณะ ดังนี้

(1) ต้องไม่เกิดการกัดกร่อน รอยร้าว การล่อน เป็นเกร็ด หรือการพอง และพื้นผิวต้องอยู่ในสภาพที่จะเคลือบสีทับได้

(2) ระหว่างการตาก ฟิล์มของสีต้องยังคงอยู่ในสภาพดี ไม่เกิดการเป็นฝุ่นและการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 3

หมายเหตุ ตัวอย่างสีมาตรฐานที่ยอมรับ หมายถึง ตัวอย่างสีที่เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้เกี่ยวข้อง

5.11 ความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)

สีของฟิล์มส่วนที่ได้รับแสงกับส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะแตกต่างกันได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.8

5.12 ความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.9 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ย่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

5.13 ความทนด่าง

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.10 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ย่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

5.14 ความทนทานต่อการเช็ดล้าง (เฉพาะสีภายใน)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.11 แล้ว ต้องไม่พบข้อบกพร่องบนแผ่นฟิล์ม เช่น การพอง การสึกจนถึงพื้นผิวชั้นล่าง สีซีดลง และจะต้องขจัดสิ่งสกปรกได้เกือบหมด

5.15 ความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.12 แล้ว น้ำหนักของฟิล์มสีแห้งที่หายไปต้องไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุสีอิมัลชันในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ขนาดบรรจุของสีอิมัลชันควรเป็นดังนี้

6.2.1 1 ลิตร

6.2.2 4 ลิตร

6.2.3 20 ลิตร

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุสีอิมัลชันทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้

(2) ประเภท

(3) ชื่อสี พร้อมตัวอย่างหรือหมายเลขสี

(4) ปริมาตรสุทธิ เป็นลิตร

(5) เดือน ปีที่ทำ

(6) รหัสรุ่นที่ทำ

(7) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

(8) คำแนะนำเกี่ยวกับการเติมน้ำในการใช้งาน พร้อมทั้งวิธีใช้

(9) คำเตือนเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น ห้ามรับประทาน ระวังเข้าตา เก็บให้พ้นมือเด็ก

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 การตรวจและการเตรียมตัวอย่าง แผ่นทดสอบ และการเคลือบ

ให้เป็นไปตาม มอก.285 เล่ม 2 เล่ม 3 และเล่ม 4 ตามลำดับ โดยผสมสีตามคำแนะนำของผู้ทำ ในกรณีที่ผู้ทำระบุอัตราการผสมเป็นช่วง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยในการผสม ก่อนนำไปทดสอบรายการต่าง ๆ ยกเว้น ความละเอียด ปริมาณตะกั่ว ปริมาณปรอท ภาวะในภาชนะบรรจุ เสถียรภาพต่อการเก็บ เสถียรภาพต่อการเก็บที่อุณหภูมิสูง และความทนทานต่อเชื้อรา

9.2 การทดสอบระยะเวลาที่สีแห้ง

เคลือบสีบนกระจกด้วยเครื่องทำฟิล์ม ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียก 50 ไมโครเมตร แล้วทดสอบระยะเวลาการแห้งที่ผิวและการแห้งแข็ง ตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 9 และเล่ม 10 ตามลำดับ

9.3 การทดสอบสมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง

ทดสอบตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 24 โดยเคลือบบนแผ่นยิปซัมในอัตราการเคลือบประมาณ 13 ตารางเมตรต่อลิตร

9.4 การทดสอบความทนทานต่อการดัดโค้ง

เคลือบสีบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกด้วยเครื่องทำฟิล์ม ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในภาวะปกติในแนวนอนเป็นเวลา 7 วัน แล้วดัดแผ่นทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 19 โดยใช้แกนดัดโค้ง (mandrel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรสำหรับสีภายนอก และใช้แกนดัดโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรสำหรับสีภายใน

9.5 การทดสอบความทนทานต่อเชื้อรา

ให้ทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 21 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

(1) เตรียมแผ่นทดสอบโดยใช้เครื่องทำฟิล์ม ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 100 ไมโครเมตร และทิ้งให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 7 วัน

(2) ใช้เชื้อ *แอสเพอร์จิลลัส ไนเจอร์* (*Aspergillus niger* ATCC 6275) *คลาโดสปอเรียม คาโดสปอรอยดส์* (*Cladosporium cladosporoides* IFO 6348)

(3) สีภายในไม่ใช้น้ำชะล้างแผ่นทดสอบก่อนการเพาะเชื้อ ส่วนสีภายนอกให้ใช้น้ำชะล้างแผ่นทดสอบเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

(4) ใช้ระยะเวลาเพาะเชื้อ 7 วัน

(5) ใช้กระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 30 เบอร์ 40 หรือเทียบเท่า

9.6 การทดสอบความทนทานต่อสาหร่าย

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องแก้ว

(1) จานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร

(2) ขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

9.6.1.2 ตู้เพาะเชื้อ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียสถึง 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90

9.6.1.3 เครื่องเขย่า ความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที

9.6.1.4 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร

9.6.2 สารเคมี

9.6.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อบีจี-11 (BG-11)

(1) ส่วนประกอบ

โซเดียมไนเทรต ($NaNO_3$)	1.5 กรัม
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	0.030 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปทะไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.075 กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	0.036 กรัม
กรดซิทริก	0.006 กรัม
อีดีทีเอ (EDTA)	0.001 กรัม
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	0.020 กรัม
สารละลายโลหะ (trace metal solution)(ข้อ 9.6.2.2)	1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(2) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

(3) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมวุ้น 15 กรัม เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตรหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

9.6.2.2 สารละลายโลหะ

(1) ส่วนประกอบ

กรดบอริก	2.86 กรัม
แมงกานีสคลอไรด์เททระไฮเดรต ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)	1.80 กรัม
ซิงก์ซัลเฟตเฮปทะไฮเดรต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.222 กรัม

โซเดียมโมลิบเดรตเพนทะไฮเดรต ($NaMoO_4 \cdot 5H_2O$) 0.390 กรัม

คอปเปอร์ซัลเฟตเพนทะไฮเดรต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 0.079 กรัม

โคบอลต์ไนเทรตเฮกซะไฮเดรต ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) 0.0494 กรัม

(2) วิธีเตรียม

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

9.6.3 สาหร่ายทดสอบ ให้ใช้สาหร่ายสายพันธุ์ไทย จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ

(1) *คลอโรค็อกคัม* (*Chloroccum sp.* TISTR 8973)

(2) *น็อสท็อก พาลูดอสซัม* (*Nostoc Paludossum* TISTR 8978)

(3) *ฟอร์มิเดียม แองกัสทิสซิมัม* (*Phormidium angustissimum* TISTR 8979)

9.6.4 วิธีทดสอบ

9.6.4.1 การเตรียมสารละลายสาหร่ายทดสอบ

(1) เติมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11 ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในขวดแก้วรูปกรวย 3 ใบ

(2) เติมสาหร่าย 5 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละใบ

(3) อบเพาะเชื้อบนเครื่องเขย่าความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที ในตู้อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 2 300 ลักซ์ถึง 2 500 ลักซ์ เป็นเวลา ประมาณ 14 วัน

(4) นำสาหร่ายที่อบเพาะเชื้อแล้ว ไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร เจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อจนมีค่าการดูดกลืนแสง 0.3 ถึง 0.5 นำสารละลายของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ที่ได้ในปริมาตรเท่า ๆ กัน ผสมรวมเป็นสารละลายสาหร่ายทดสอบ

9.6.4.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ

ให้ใช้กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่า เป็นกระดาษทดสอบ วางกระดาษกรองบนกระจกแผ่นเรียบ เคลือบสีอิมัลชันตัวอย่างด้วยเครื่องทำฟิล์ม (bird film applicator) ให้ได้ความหนาของฟิล์มประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิมให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียก 200 ไมโครเมตร $\pm$ 10 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ตัดเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 มิลลิเมตร

9.6.4.3 การชะล้างแผ่นทดสอบ

ให้แช่แผ่นทดสอบในภาชนะบรรจุน้ำที่มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะ เพื่อให้น้ำท่วมทั่วผิวหน้าแผ่นทดสอบ ปล่อยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสถึง 30 องศาเซลเซียส ให้ไหลสู่ก้นภาชนะในอัตรา 5 เท่าของปริมาตรภาชนะต่อ 24 ชั่วโมง อัตราส่วนของพื้นที่แผ่น

ทดสอบต่อปริมาตรน้ำจะต้องไม่น้อยกว่า 1 ต่อ 100 แช่แผ่นทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบออก ทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบ

9.6.4.4 การเพาะเชื้อ

(1) เตรียมสารละลายผสมสาหร่ายทดสอบ ร้อยละ 5 ในอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11 ผสมให้เข้ากัน เติมลงในจานเพาะเชื้อ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งให้แข็งตัว

(2) วางแผ่นทดสอบไว้ตรงกลางจานเพาะเชื้อ หยดสารละลายสาหร่ายทดสอบที่กึ่งกลางแผ่นทดสอบ 0.02 มิลลิลิตร เกลี่ยให้กระจายทั่วแผ่นทดสอบ

(3) นำจานเพาะเชื้อไปอบเพาะเชื้อเป็นเวลา 28 วัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง 2 000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง เป็น 12 ชั่วโมง : 12 ชั่วโมง

9.6.5 การประเมินผล

9.6.5.1 เมื่อครบกำหนดเวลาการเพาะเชื้อแล้ว ให้ตรวจดูแผ่นทดสอบด้วยตาเปล่า ต้องไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบจึงจะถือว่าผ่านการทดสอบ

9.6.5.2 กรณีต้องการดูการชะของสารเคมีออกจากแผ่นทดสอบ ให้วัดขนาดความกว้างของบริเวณโดยรอบแผ่นทดสอบที่สาหร่ายไม่เจริญเติบโต

9.7 การทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ทดสอบโดยวิธีเร่งภาวะ โดยเคลือบสีบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ไยหิน ตามคำแนะนำของผู้ทำที่ระบุไว้ที่ฉลาก แล้วผึ่งในเครื่องเร่งภาวะตามที่กำหนดใน ASTM G 154 โดยมีภาวะวงจร คือ รับแสง 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควบแน่น 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการผึ่งในเครื่องเร่งภาวะ 1 000 ชั่วโมง

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้เครื่องเร่งภาวะแบบอื่น ให้ปรับวิธีทดสอบเพื่อให้ได้ผลการทดสอบเทียบเท่ากับข้อกำหนดข้างต้น

9.8 การทดสอบความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 18 โดยเตรียมแผ่นทดสอบดังนี้ คือ

เคลือบสี 2 ชั้นด้วยแปรงบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ไยหิน โดยทิ้งระยะเวลาให้ห่างกัน 2 ชั่วโมง ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีเสร็จแล้วนี้ไปผึ่งด้วยแสงกลางวัน (day light) เป็นเวลา 30 วัน

9.9 การทดสอบความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 22 โดยเตรียมแผ่นทดสอบ ดังนี้ คือ

เคลือบสีด้วยแปรงให้เรียบสม่ำเสมอบนแผ่นกระเบื้องใยหินขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วเคลือบซ้ำ โดยให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน แล้วเคลือบด้านหลังและขอบด้วยพาราฟิน และให้แช่แผ่นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 10 วัน

9.10 การทดสอบความทนด่าง

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 23 โดยเตรียมแผ่นทดสอบตามข้อ 9.8 และให้แช่แผ่นทดสอบในสารละลายอิ่มตัวแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 144 ชั่วโมงสำหรับสีภายนอก และเป็นเวลา 48 ชั่วโมงสำหรับสีภายใน

9.11 การทดสอบความทนทานต่อการเช็ดล้าง (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 20 โดยให้ใช้สบู่ซักล้าง ตาม มอก.28 หรือสารเทียบเท่า และให้ขัดสี 1 000 รอบ

9.12 การทดสอบความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม ASTM D 4213 โดยใช้ non-abrasive scrub medium และขัดถูเป็นจำนวน 3 000 รอบ

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 8.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง สีอิมัลชันประเภทและสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 6. และข้อ 7. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามกำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 90	2	0
91 ถึง 150	8	1
151 ถึง 500	13	2
501 ถึง 1 200	20	3
เกิน 1 200	32	5

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตาม มอก.285 เล่ม 1

ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างสีอิมัลชันต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ร่าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2321 — 2549

สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

WEATHER RESISTANT EMULSION PAINTS

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 87.040

ISBN 974-

20950CA/574CA

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

มอก. 2321 – 2549

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 124 ตอนที่ พิเศษ 40 ง.
วันที่ 3 เมษายน พุทธศักราช 2550

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 157
มาตรฐานสีที่ใช้ในการก่อสร้างและตกแต่ง

ประธานกรรมการ	
นางวันทนา สะสมทรัพย์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กรรมการ	
นายเขมชิต ธนากิจชาญเจริญ	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
นายสุชาติ ตรีสัตยพันธ์	กรมโยธาธิการและผังเมือง
นายสุรพล หุตะเศรณี	กรุงเทพมหานคร
นายประเสริฐ อย่างธารา	สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์
นายวรุตม์ กี่จนา	การรถไฟแห่งประเทศไทย
นางรัตน์จนา เจริญพิทยา	บริษัท สี ไอ ซี ไอ (ประเทศไทย) จำกัด
นางสาวเกศริน โทวนิช	บริษัท โจตันไทย จำกัด
นายพรชัย เลิศอำนวยพร	บริษัท สีซิกม่า (ประเทศไทย) จำกัด
นายอมรชัย ไตรคุณากรวงศ์	
นายไสว เกิดเกียรติขจร	บริษัท บางกอกไชน่าเพ้นท์ จำกัด
นายประสิทธิ์ วงศ์วัฒนารัตน์	บริษัท อุตสาหกรรมสีสยาม จำกัด
นางสาวบัญชรี มณีดิษฐ์	บริษัท ที โอ เอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด
นางพัชรี พัฒนาสิทธิเสรี	
กรรมการและเลขานุการ	
นางนฤมล วาณิชย์เจริญ	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศขึ้นได้เองภายในประเทศ และมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้และเพื่อส่งเสริมให้มีการทำสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศที่มีคุณภาพ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นเล่มหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีอิมัลชัน ได้แก่

มอก.272-2549	สีอิมัลชันใช้งานทั่วไป
มอก. 2321-2549	สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำในประเทศและเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

SS 345 : 1990	Algae Resistant Emulsion Paint for Decorative Purposes
ASTM D 2486-00	Standard Test Methods for Scrub Resistance of Wall Paints
ASTM G 154-00	Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials
BS 4800-1989	Schedule of Paint Colours for Building Purposes
มอก.285	วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง
เล่ม 1-2521	การชักตัวอย่าง
เล่ม 2-2521	การตรวจและการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ
เล่ม 3-2521	แผ่นทดสอบและการเตรียม
เล่ม 4-2521	การเคลือบ
เล่ม 8-2524	การหาความละเอียด
เล่ม 9-2524	การทดสอบการแห้งที่ผิวโดยใช้ลูกแก้ว
เล่ม 10-2524	การทดสอบระยะเวลาเมื่อแห้งแข็ง
เล่ม 11-2524	ภาวะในภาชนะบรรจุ
เล่ม 12-2524	เสถียรภาพต่อการเก็บ
เล่ม 14-2524	การหาความหนืด
เล่ม 15-2524	การเทียบสีด้วยตา
เล่ม 16-2524	การเปรียบเทียบอัตราส่วนความผิดแผกของสีประเภทเดียวกันที่มีสีเหมือนกัน
เล่ม 18-2525	ความคงทนต่อแสง
เล่ม 19-2525	ความทนทานต่อการดัดโค้ง
เล่ม 20-2525	ความทนทานต่อการเช็ดล้าง
เล่ม 21-2525	ความทนทานต่อเชื้อรา
เล่ม 22-2525	ความทนน้ำ
เล่ม 23-2525	ความทนของเหลว
เล่ม 24-2525	สมบัติในการใช้งาน
เล่ม 27-2526	การหาปริมาณตะกั่วในสี
เล่ม 28-2526	การหาปริมาณปรอทในสี
มอก.28-2531	สบู่ชักล้าง

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3583 (พ.ศ. 2549)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ มาตรฐานเลขที่ มอก. 2321-2549 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2549

(นายโฆสิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศใช้สำหรับเคลือบอาคารทั้งภายนอกหรือภายใน ที่แห้งได้เองในอากาศ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "สีอิมัลชัน" หมายถึง สีที่ประกอบด้วยผงสีและสิ่งนำสีที่เป็นอิมัลชันระหว่างสารยึดกับน้ำ สำหรับใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อสภาวะอากาศ อาจเรียกชื่ออื่นว่า สีลาเท็กซ์ทนสภาวะอากาศ สีเรซินอิมัลชันทนสภาวะอากาศ สีน้ำพลาสติกทนสภาวะอากาศ สีน้ำอะคริลิก ในกรณีที่สารยึดเป็นอะคริลิก

3. ประเภท

3.1 สีอิมัลชันแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 ประเภท คือ

3.1.1 สีภายนอก ใช้สำหรับเคลือบอาคารทั้งภายนอกและภายใน

3.1.2 สีภายใน ใช้สำหรับเคลือบเฉพาะภายในอาคาร

4. ส่วนประกอบ

4.1 ผงสี

4.2 สิ่งนำสี ได้แก่สารยึดและน้ำ และอาจมีสารอื่นอยู่ด้วยก็ได้ เช่น สารอิมัลซิฟาย สารกระจายผงสี สารลดฟอง สารทำให้ข้น สารกันเชื้อราชนิดไม่มีปรอท สารกันตะไคร่

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 คุณลักษณะทางปริมาณ
ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางปริมาณ
(ข้อ 5.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ความละเอียด ไมโครเมตร ไม่เกิน	60	มอก.285 เล่ม 8
2	ระยะเวลาที่สีแห้ง		ข้อ 9.2
	- แห้งที่ผิว นาที ไม่เกิน	30	
	- แห้งแข็ง ชั่วโมง ไม่เกิน	2	
3	กำลังซ่อนแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	80	มอก.285 เล่ม 16
4	ตะกั่ว ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 27
5	ปรอท ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 28

หมายเหตุ 1. *ให้ยกเว้นการทดสอบกำลังซ่อนแสงสำหรับสีซึ่งไม่มีสีขาวเป็นส่วนผสม เช่น*
- *สีแดง ตาม BS 4800 หมายเลข 04 E 53*
- *สีเหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 10 E 53*
- *สีน้ำเงิน ตาม BS 4800 หมายเลข 18 C 39*
- *สีดำ ตาม BS 4800 หมายเลข 00 E 53*
- *สีเหลือง-แดง ตาม BS 4800 หมายเลข 06 E 51, 08 E 51*
- *สีเขียว-เหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 12 E 51, 12 E 53*

2. *การทดสอบกำลังซ่อนแสง ให้ทดสอบตัวอย่างที่มีความหนืดไม่เกิน 100 หน่วยเครบส์ ในกรณีที่ตัวอย่างมีความหนืดเกิน 100 หน่วยเครบส์ให้เติมน้ำจนตัวอย่างมีความหนืด (100 ±2) หน่วยเครบส์ การวัดความหนืดให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 14*

5.2 สี

สีของฟิล์มต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากหรือตามข้อตกลงระหว่างผู้เกี่ยวข้อง กรณีที่ชื่อสีตรงกับชื่อสีตาม BS 4800 สีของฟิล์มต้องเทียบได้กับแถบสีตามมาตรฐานดังกล่าว

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 15

5.3 ภาวะในภาชนะบรรจุ

สีในภาชนะบรรจุที่เปิดใหม่ ต้องไม่ปรากฏสนิมหรือมีกลิ่นที่น่ารังเกียจ และเมื่อคนจนทั่วแล้วต้องไม่มีก้อนหรือผงหยาบ แต่อาจมีฟองได้เล็กน้อย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 11

5.4 เสถียรภาพต่อการเก็บ

เมื่อนำสีที่ผลิตมาแล้วเป็นเวลา 6 เดือน มาทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีจะต้องไม่ข้นแข็ง จับตัวเป็นก้อน เป็นวุ้น เป็นเม็ด เป็นวุ้นเหนียว มีกลิ่นที่เกิดจากการบูดเน่า หรือมีก๊าซเกิดขึ้น และเมื่อคนจนทั่วแล้วสีต้องไม่นอนก้นหรือแยกชั้น

5.5 เสถียรภาพต่อการเก็บที่อุณหภูมิสูง

เมื่อทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีต้องไม่เป็นก้อนแข็ง เป็นฝา นอนก้นแข็ง หรือเปลี่ยนสีและต้องสามารถปรับหรือลดความหนืดให้เหมาะสมเพื่อใช้งานได้

5.6 สมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง

5.6.1 การเคลือบสีด้วยแปรงและลูกกลิ้ง

ต้องเคลือบได้ง่าย เรียบ และส่วนที่ทับกันต้องสม่ำเสมอตลอด

5.6.2 การเคลือบทับ

เมื่อเคลือบสีทับพื้นผิวที่เคลือบสีนั้นไว้ 1 ครั้งแล้วเมื่อ 2 ชั่วโมงก่อน แล้วปล่อยให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในห้องทดลอง สีที่เคลือบทับต้องไม่ดึงหรือม้วนสีที่เคลือบไว้เดิมขึ้นมา

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

5.7 ความทนทานต่อการดัดโค้ง

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.4 แล้ว แผ่นฟิล์มต้องไม่แตกร้าว กะเทาะ หรือล่อนเป็นแผ่น

5.8 ความทนทานต่อเชื้อรา

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 แล้ว ต้องไม่พบเชื้อราบนแผ่นทดสอบในบริเวณที่ตีกรอบเอาไว้

หมายเหตุ สีสูตรเดียวกันให้สุ่มทดสอบเพียง 1 เฉดสี ไม่ต้องทดสอบทุกเฉดสี

5.9 ความทนทานต่อตะไคร่ (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 แล้ว ต้องไม่พบตะไคร่บนแผ่นทดสอบ

หมายเหตุ สีสูตรเดียวกันให้สุ่มทดสอบเพียง 1 เฉดสี ไม่ต้องทดสอบทุกเฉดสี

5.10 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.7 แล้ว

(1) ฟิล์มของสีต้องไม่เกิดการกัดกร่อน ร้าว ล่อน เป็นเกล็ด หรือพอง และพื้นผิวต้องอยู่ในสภาพที่จะเคลือบสีทับได้

(2) ระหว่างการผึ่ง ฟิล์มของสีต้องยังคงอยู่ในสภาพดี ไม่เกิดการเป็นฝุ่น และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 3

5.11 ความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)

สีของฟิล์มส่วนที่ได้รับแสงกับส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะแตกต่างกันได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.8

5.12 ความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.9 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ย่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

5.13 ความทนด่าง

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.10 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ย่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

5.14 ความทนทานต่อการเช็ดล้าง (เฉพาะสีภายใน)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.11 แล้ว ต้องไม่พบข้อบกพร่องบนแผ่นฟิล์ม เช่น พอง สีสึกจนถึงพื้นผิวชั้นล่าง สีซีดลง และต้องขจัดสิ่งสกปรกได้เกือบหมด

5.15 ความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.12 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่แตก หลุดล่อน หรือสึกจนถึงพื้นผิวชั้นล่างเป็นแนวยาวเกิน 10 มิลลิเมตรตามทิศทางการขัดถู

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุสีอิมัลชันในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น ให้ขนาดบรรจุของสีอิมัลชันในแต่ละภาชนะบรรจุเป็น 1 ลิตร 4 ลิตร และ 20 ลิตร และต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุสีอิมัลชันทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้
(2) ประเภท
(3) ชื่อสี พร้อมตัวอย่างหรือหมายเลขสี
(4) ปริมาตรสุทธิ เป็นลิตร
(5) เดือน ปีที่ทำ
(6) รหัสรุ่นที่ทำ
(7) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
(8) คำแนะนำในการใช้งาน พร้อมทั้งวิธีใช้
(9) คำเตือนเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น ห้ามรับประทาน ระวังเข้าตา เก็บให้พ้นมือเด็ก

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 การตรวจและการเตรียมตัวอย่าง แผ่นทดสอบ และการเคลือบ
ให้เป็นไปตาม มอก.285 เล่ม 2 เล่ม 3 และเล่ม 4 ตามลำดับ โดยผสมสีตามคำแนะนำของผู้ทำก่อนนำไปทดสอบรายการต่างๆ ตามข้อ 9.2 ข้อ 9.3 ข้อ 9.4 ข้อ 9.7 ข้อ 9.8 ข้อ 9.9 ข้อ 9.10 ข้อ 9.11 และข้อ 9.12 กรณีที่ผู้ทำระบุอัตราการผสมเป็นช่วง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยในการผสม

9.2 การทดสอบระยะเวลาที่สีแห้ง

เคลือบสีบนกระจกด้วยเครื่องทำฟิล์มให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร แล้วทดสอบระยะเวลาการแห้งที่ผิวและการแห้งแข็งตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 9 และเล่ม 10 ตามลำดับ

9.3 การทดสอบสมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง

ทดสอบตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 24 โดยเคลือบสีบนแผ่นยิปซัมในอัตราการเคลือบประมาณ 13 ตารางเมตรต่อลิตร

9.4 การทดสอบความทนทานต่อการดัดโค้ง

เคลือบสีบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกด้วยเครื่องทำฟิล์มให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในภาวะปกติในแนวนอนเป็นเวลา 14 วัน แล้วดัดแผ่นทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 19 โดยใช้แมนเดรล (mandrel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สำหรับสีภายนอก และใช้แมนเดรลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สำหรับสีภายใน

9.5 การทดสอบความทนทานต่อเชื้อรา

ให้ทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 21 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

(1) เตรียมแผ่นทดสอบโดยใช้เครื่องทำฟิล์มเคลือบทั้ง 2 ด้านของกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่า ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้านประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิมให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้าน 200 ไมโครเมตร ± 10 ไมโครเมตร (ความหนารวม 2 ชั้น) และทิ้งให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 14 วัน

(2) สีภายนอก ให้แช่แผ่นทดสอบในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ภาชนะละ 1 แผ่น ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นทดสอบประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อ 3 ตารางเซนติเมตร (หรือแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 เซนติเมตร ใช้น้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร) ขณะแช่แผ่นทดสอบต้องไม่แตะผิวภาชนะ และต้องเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง แช่แผ่นทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบออกทิ้งไว้ให้แห้ง ตัดแผ่นทดสอบเป็นชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ 30 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น ใช้หมึกทนน้ำได้ตีเส้นเป็นกรอบไว้บนแผ่นทดสอบโดยห่างจากขอบ 3 มิลลิเมตร

(3) สีภายใน ไม่ต้องแช่แผ่นทดสอบในน้ำกลั่น ให้ตัดแผ่นทดสอบเป็นชิ้นทดสอบและทำเครื่องหมายตามที่กำหนดในข้อ 2

(4) ใช้เชื้อ*แอสเพอร์จิลลัส ไนเจอร์ (Aspergillus niger ATCC 6275) คลาโดสปอเรียม คลาโดสปอรอยดส์ (Cladosporium cladosporoides IFO 6348)*

(5) ใช้ระยะเวลาอบเพาะเชื้อ 7 วัน

9.6 การทดสอบความทนทานต่อตะไคร่ (เฉพาะสีภายนอก)

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องแก้ว

(1) จานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร

(2) ขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

9.6.1.2 ตู้อบเพาะเชื้อ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียสถึง 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90

9.6.1.3 เครื่องเขย่า ความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที

9.6.1.4 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร

9.6.2 สารเคมี

9.6.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อบีจี-11 (BG-11)

(1) ส่วนประกอบ

โซเดียมไนเทรต ($NaNO_3$)	1.5	กรัม
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	0.030	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปทะไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.075	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)	0.036	กรัม
กรดซิทริก	0.006	กรัม
อีดีทีเอ (EDTA)	0.001	กรัม
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	0.020	กรัม
สารละลายโลหะ (trace metal solution) (ข้อ 9.6.2.2)	1	มิลลิลิตร

(2) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

(3) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมวุ้น 15 กรัม เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตรหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

9.6.2.2 สารละลายโลหะ

(1) ส่วนประกอบ

กรดบอริก	2.86	กรัม
แมงกานีสคลอไรด์เททระไฮเดรต ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)	1.80	กรัม
ซิงก์ซัลเฟตเฮปทะไฮเดรต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.222	กรัม
โซเดียมโมลิบเดรตเพนทะไฮเดรต ($NaMoO_4 \cdot 5H_2O$)	0.390	กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟตเพนทะไฮเดรต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	0.079	กรัม
โคบอลต์ไนเทรตเฮกซะไฮเดรต ($Co(No_3)_2 \cdot 6H_2O$)	0.0494	กรัม

(2) วิธีเตรียม

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

9.6.3 ตะไคร่ทดสอบ ให้ใช้ตะไคร่สายพันธุ์ไทย จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ

(1) คลอโรค็อกคัม (Chlorococcum sp. TISTR 8973)

(2) น็อสท็อก พาลูดอสซัม (Nostoc Paludossum TISTR 8978)

(3) ฟอร์มิเดียม แองกัสทิสซิมัม (Phormidium angustissimum TISTR 8970)

9.6.4 วิธีทดสอบ

9.6.4.1 การเตรียมสารละลายตะไคร่ทดสอบ

(1) เติมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวดแก้วรูปกรวย 3 ใบ

(2) เติมตะไคร่ 5 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละใบ

(3) อบเพาะเชื้อบนเครื่องเขย่าความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที ในตู้อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสงประมาณ 2 000 ลักซ์ เป็นเวลาประมาณ 14 วัน

(4) นำตะไคร่ที่อบเพาะเชื้อแล้ว ไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร เจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อจนมีค่าการดูดกลืนแสง 0.3 ถึง 0.5 นำสารละลายของตะไคร่แต่ละสายพันธุ์ที่ได้ในปริมาตรเท่า ๆ กัน ผสมรวมเป็นสารละลายตะไคร่ทดสอบ

9.6.4.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ

ให้ใช้กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่าเป็นกระดาษทดสอบ เคลือบสีตัวอย่างด้วยเครื่องทำฟิล์ม (bird film applicator) ทั้ง 2 ด้านของกระดาษกรองให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้านประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิมให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้าน 200 ไมโครเมตร ± 10 ไมโครเมตร (ความหนารวม 2 ชั้น) ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน

9.6.4.3 การแช่แผ่นทดสอบ

แช่แผ่นทดสอบในภาชนะบรรจุน้ำที่มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะ ภาชนะละ 1แผ่น ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นทดสอบประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อ 3 ตารางเซนติเมตร (หรือแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 เซนติเมตร ใช้น้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร) ขณะแช่แผ่นทดสอบต้องไม่แตะผิวภาชนะและต้องเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง แช่แผ่นทดสอบในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบออก ทิ้งไว้ให้แห้ง ตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 มิลลิเมตร

9.6.4.4 การอบเพาะเชื้อ

(1) เตรียมสารละลายผสมตะไคร่ทดสอบ ร้อยละ 5 ในอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11 ผสมให้เข้ากัน เติมลงในจานเพาะเชื้อ 25 มิลลิลิตร ทิ้งให้แข็งตัว

(2) วางแผ่นทดสอบไว้ตรงกลางจานเพาะเชื้อ หยดสารละลายตะไคร่ทดสอบที่กึ่งกลางแผ่นทดสอบ 0.02 มิลลิลิตร เกลี่ยให้กระจายทั่วแผ่นทดสอบ

(3) นำจานเพาะเชื้อไปอบเพาะเชื้อเป็นเวลา 28 วัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสงประมาณ 2 000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง เป็น 12 ชั่วโมง : 12 ชั่วโมง

9.6.5 การประเมินผล

เมื่อครบกำหนดเวลาการอบเพาะเชื้อแล้ว ให้ตรวจดูแผ่นทดสอบด้วยตาเปล่าหรือใช้เครื่องมือที่เหมาะสม กรณีต้องการดูการชะล้างของสารเคมีออกจากแผ่นทดสอบ ให้วัดขนาดความกว้างของบริเวณโดยรอบแผ่นทดสอบที่ตะไคร่ไม่เจริญเติบโต

9.7 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ทดสอบโดยวิธีเร่งภาวะ โดยเคลือบสีบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินตามคำแนะนำของผู้ทำที่ระบุไว้ที่ฉลาก แล้วผึ่งในเครื่องเร่งภาวะตามที่กำหนดใน ASTM G 154 โดยมีภาวะวงจร คือ รับแสง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควบแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการผึ่งในเครื่องเร่งภาวะเป็น 1 000 ชั่วโมง

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้เครื่องเร่งภาวะแบบอื่น ให้ปรับวิธีทดสอบเพื่อให้ได้ผลการทดสอบเทียบเท่ากับข้อกำหนดข้างต้น

9.8 การทดสอบความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 18 โดยเตรียมแผ่นทดสอบดังนี้

เคลือบสี 2 ชั้นด้วยแปรงบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน โดยทิ้งระยะเวลาให้ห่างกัน 2 ชั่วโมง ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีเสร็จแล้วนี้ไปผึ่งด้วยแสงกลางวัน (day light) เป็นเวลา 30 วัน

9.9 การทดสอบความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 22 โดยเตรียมแผ่นทดสอบดังนี้

เคลือบสีด้วยแปรงให้เรียบสม่ำเสมอบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วเคลือบซ้ำโดยให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 14 วัน แล้วเคลือบด้านหลังและขอบด้วยพาราฟินและให้แช่แผ่นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 10 วัน

9.10 ความทนด่าง

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 23 โดยเตรียมแผ่นทดสอบตามข้อ 9.9 แล้วแช่แผ่นทดสอบในสารละลายอิ่มตัวแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 144 ชั่วโมง สำหรับสีภายนอก และเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับสีภายใน

9.11 การทดสอบความทนทานต่อการเช็ดล้าง (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 20 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

(1) ใช้สบู่ซักล้าง ตาม มอก.28 หรือสารเทียบเท่า

(2) ให้ถูฟองน้ำ 1 000 รอบ โดยเมื่อครบ 25 รอบและ 50 รอบ ให้ดึงฟองน้ำออกทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น โดยการจุ่มและบิดหลาย ๆ ครั้งจนหมดสบู่ แล้วเทน้ำกลั่นลงบนฟองน้ำ และถูสบู่ใหม่

9.12 การทดสอบความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม ASTM D 2486 Method A โดยไม่ใช้แผ่นทองเหลืองรองใต้แผ่นทดสอบ (brass shim) ใช้สารละลายสบู่เหลวร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก เป็นตัวกลางขัดถู (scrub media) และขัดถู 3 000 รอบ ตรวจพินิจฟิล์มของสีบริเวณห่างจากขอบหัวและท้ายเกิน 50 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 8.1)

ก.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง สีอิมัลชันประเภทและชื่อสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 6. และข้อ 7. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 90	2	0
91 ถึง 150	8	1
151 ถึง 500	13	2
501 ถึง 1 200	20	3
เกิน 1 200	32	5

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตาม มอก.285 เล่ม 1

ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างสีอิมัลชันต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าสีอิมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ส่วนที่ 2 :
การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนฟิล์มสีระดับภาคสนาม

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ. 47/06
การพัฒนาสีที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์) ส่วนที่ 2
การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนฟิล์มสีระดับภาคสนาม

โดย

อาภารัตน์ มหาขันธ์
ขอขวัญ อิศรางกูร ณ อยุธยา
แสวง เตชะงามวงศ์
ชัยพร ธีรทวีวัฒน์
มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์
อำนวย อุษณกรกุล
บัญชรีย์ มณีดิษฐ์
นฤมล วาณิชย์เจริญ

บรรณาธิการ
นฤมล รื่นไวย์
บุญเรียม น้อยชุมแพ
ศิริสุข ศรีสุข

วว., ปทุมธานี 2557
สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูป	ค
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	3
1. บทนำ	4
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	5
3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	12
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	58
5. เอกสารอ้างอิง	61
6. ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. สารต้านสาหร่ายทางการค้าและผลิตภัณฑ์สีที่ใช้ในการทดสอบภาคสนาม 7
ตารางที่ 2. ระยะเวลาการวางแผ่นทดสอบและการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย 10
ตารางที่ 3. รายละเอียดของพื้นที่ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบและสภาพอากาศในภาคต่างๆ 14
ตารางที่ 4. สาหร่ายที่สำรวจพบในพื้นที่ตั้งแผงในภาคต่างๆ 22
ตารางที่ 5. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ 28
ตารางที่ 6. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี 33
ตารางที่ 7. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี 39
ตารางที่ 8. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 44
ตารางที่ 9. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง 49
ตารางที่ 10. สรุปผลการตรวจประเมินแผ่นทดสอบในภาคต่างๆ ของประเทศไทย จำนวน 5 แห่ง 52
ตารางที่ 11. ชนิดของสาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ 54

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. สาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย (standard strains) 6
รูปที่ 2. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ 19
รูปที่ 3. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี 19
รูปที่ 4. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี 20
รูปที่ 5. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 20
รูปที่ 6. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ สวนยางพารา จ. ตรัง 21
รูปที่ 7. การวางแผ่นทดสอบสี ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ 27
รูปที่ 8. การวางแผ่นทดสอบสี ณ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี 32
รูปที่ 9. การวางแผ่นทดสอบสี ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี 37
รูปที่ 10. การเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวของตึกที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับสถานที่วางแผ่นทดสอบ 38
รูปที่ 11. การวางแผ่นทดสอบสี ณ นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 43
รูปที่ 12. การวางแผ่นทดสอบสี ณ สวนยางพารา จ. ตรัง 48
รูปที่ 13. ลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวแผ่นทดสอบในภาคสนาม 54
รูปที่ 14. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบบริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ 55
รูปที่ 15. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบบริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี 55
รูปที่ 16. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 56
รูปที่ 17. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบบริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง 57

ON-SITE EFFICIENCY TEST OF ANTI-ALGAL PAINTED FILM

Aparat Mahakhant, Mayuree Tungthananuwat, Khokhwan Isarankura Na Ayudhya, Umnouy Usanakornkul, Sawang Techangamwong, Bancharee Maneedith, Chaiyaporn Teeratawewat and Narumol Vanitcharoen

ABSTRACT

The on-site efficiency tests of anti-algal painted film were carried out by double-coating on the test panels of lightweight cement panels with two types of paints namely quality grade (35 % PVC) and general grade (60 % PVC), both mixed with 6 commercial anti-algal paints at various concentrations. Other paints available in the Thailand market and abroad were also evaluated. The test panels were placed at 45°plane to the ground at 5 different exposure sites such as Temperate Mushroom Research Centre, Chiang Mai; Technopolis, Pathum Thani; Mrigadayawan Palace, Phetchaburi; Kabinburi Industrial Estate, Prachin Buri; and Pararubber Plantation, Trang. The exposure times were in 14-23 months. The experimental results revealed that the high density quality grade (35 % PVC) played assisting part as anti-algal agent to prolong the anti-algal effect. Two high humidity exposure sites at Temperate Mushroom Research Centre, Chiang Mai and Pararubber Plantation, Trang; considerably suitable conditions for algal growth, resulted in the anti-algal effect mostly up to 12-14 months. On the contrary, two high light intensity and high temperature exposure sites at Technopolis, Pathum Thani and Kabinburi Industrial Estate, Prachin Buri; unsuitable conditions for algal growth, showed that the test panels including the controlled panels were satisfactorily evaluated to longer exposure period up to 18 months and 23 months, respectively. This was obvious that the growth inhibition of algae was affected by physical factors of each exposure site. There was virtually no effect of anti-algal agent on algal growth exhibition. The efficiency test at Mrigadayavan Palace, Phetchaburi exposure site clearly showed similar results. Furthermore, the inhibition of algal growth on painted film was due to low humidity of test panels which was caused by windy conditions in the area, thus inhibiting the algal growth. In addition, it was also revealed that physical factors such as high light intensity and high temperature of the exposure sites affected the physical properties of painted film on the test panels. Some cracks and discoloring

effects were observed at painted films of the test panels. The paint cracks helped accumulate a lot of moisture on the test panels which could support the algal growth as well.

การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนฟิล์มสีระดับภาคสนาม

อาภารัตน์ มหาขันธ์[1], มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์[1], ขอขวัญ อิศรางกูร ณ อยุธยา[2], อำนวย อุษณกรกุล[2], แสวง เตชะงามวงศ์[3], บัญชรีย์ มณีดิษฐ์[4], ชัยพร ธีรทวีวัฒน์[5] และนฤมล วาณิชย์เจริญ[6]

บทคัดย่อ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนฟิล์มสีระดับภาคสนาม โดยการทาสี 2 ระดับชั้น คือ ชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) และชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) ที่ผสมสารต้านสาหร่ายทางการค้า 6 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์สีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดของประเทศไทยและต่างประเทศ ลงบนแผ่นทดสอบซึ่งเป็นแผ่นอิฐมวลเบา 2 ครั้ง แล้วนำไปตั้งวางบนแผงทดสอบในลักษณะเอียงจากพื้น 45 องศา โดยทำการทดสอบในพื้นที่ต่างๆ 5 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่, เทคโนธานี จ. ปทุมธานี, พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี, นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี และสวนยางพารา จ. ตรัง โดยมีระยะเวลาทดสอบตั้งแต่ 14-23 เดือน ผลการทดสอบพบว่า ฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ที่มีความหนาแน่นสูงมีส่วนช่วยให้ฟิล์มสีสามารถต้านทานต่อสาหร่ายได้นานขึ้น การวางแผงทดสอบในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายใน 2 พื้นที่ คือ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ และสวนยางพารา จ. ตรัง ฟิล์มสีที่ผสมสารต้านสาหร่ายส่วนใหญ่สามารถคงประสิทธิภาพได้ไม่เกิน 12-14 เดือน ส่วนพื้นที่ที่มีความเข้มแสงและอุณหภูมิสูง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายใน 2 พื้นที่ คือ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี และนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์-บุรี จ. ปราจีนบุรี พบว่า แผ่นทดสอบทั้งหมดรวมทั้งแผ่นควบคุมผ่านการประเมิน แม้จะมีระยะเวลาทดสอบนาน 18 เดือน และ 23 เดือน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกิดจากปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่มิใช่เกิดจากสารต้านสาหร่าย สำหรับพระราชนิเวศน์-มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี ก็พบในลักษณะเดียวกันแต่การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในฟิล์มสีดังกล่าวเกิดจากความชื้นบนแผ่นทดสอบที่ต่ำ เนื่องจากการพัดผ่านของลม ทำให้สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การทดสอบยังพบว่า ปัจจัยทางกายภาพด้านความเข้มแสงและอุณหภูมิสูงมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มสี โดยทำให้เกิดการแตกร้าวและการเปลี่ยนสีซึ่งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นจะช่วยส่งเสริมการสะสมความชื้นในแผ่นทดสอบ ซึ่งช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยเช่นกัน.

---

[1]ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[2]บริษัท ทรอย เอเชีย จำกัด
[3]บริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด
[4]บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ จำกัด
[5]บริษัท สีเดลต้า จำกัด
[6]สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

1. บทนำ

โครงการวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย มีการดำเนินงานใน 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การวิจัยเพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทยในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีอิมัลชันทาภายนอกที่ทนทานต่อสาหร่ายสำหรับประเทศไทย.

สำหรับส่วนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนฟิล์มสีระดับภาคสนามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงข้อมูลพื้นฐานด้านประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในผลิตภัณฑ์สี จากสภาพที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย โดยข้อมูลดังกล่าวนี้ยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาอย่างกว้างขวาง และเป็นระบบเช่นนี้มาก่อนในต่างประเทศแม้มีการศึกษาเป็นอย่างมากในกลุ่มประเทศยุโรปหรือสหรัฐอเมริกา การศึกษาส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นด้านเชื้อราเป็นสำคัญ สำหรับในเอเชีย ประเทศสิงคโปร์นับเป็นผู้นำในด้านนี้โดยเริ่มศึกษามาเป็นเวลากว่า 10 ปีแล้ว แต่ก็ทำการศึกษาเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น นอกจากนี้ ข้อมูลศึกษาในพื้นที่ทั้งหมดเป็นข้อมูลปกปิดทางการค้าที่ศึกษาโดยบริษัทผู้ผลิตสีหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจึงนับว่า ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผู้ผลิตสี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ของตน เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ทั้งตลาดภายในและนอกประเทศต่อไป.

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 การสำรวจพื้นที่ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบและศึกษาสายพันธุ์สาหร่ายในภาคสนาม

ทำการสำรวจและติดต่อสถานที่สำหรับตั้งแผงวางแผ่นทดสอบภาคสนามในพื้นที่ต่างๆ ได้แก่ ภาคเหนือ, ภาคกลาง, ภาคตะวันออก และภาคใต้ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่พบว่า มีการเจริญเติบโตบนพื้นผิวต่างๆ พื้นดิน และแหล่งน้ำ ในพื้นที่และทำการจัดจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อให้ทราบถึงสายพันธุ์สาหร่ายในพื้นที่นั้นๆ.

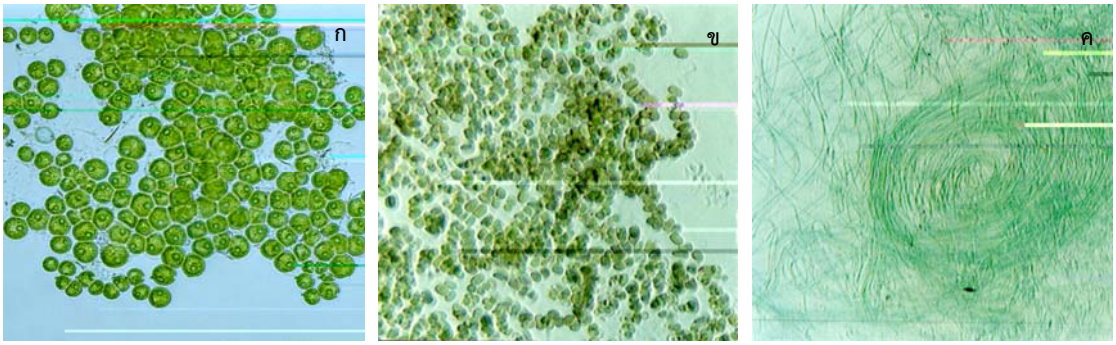
2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในภาคสนาม

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในภาคต่างๆ ของประเทศไทย จำนวน 5 แห่ง ดังนี้:

1. ภาคเหนือ บริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่
2. ภาคกลาง บริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี และพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี
3. ภาคตะวันออก บริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี
4. ภาคใต้ บริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง

2.2.1 การเตรียมสาหร่ายทดสอบ

นำสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย ซึ่งเก็บรักษา ณ ศูนย์จุลินทรีย์ (ศจล.) ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ *Chlorococcum* sp. TISTR 8973, *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 ดังแสดงในรูปที่ 1 มาขยายปริมาณการผลิตในถังคาร์บอน ปริมาตร 10 ลิตร ที่บรรจุด้วยอาหารเหลวสูตร BG-11 (Stainer *et al.* 1971) โดยใช้ความเข้มข้นของสาหร่ายคือ 0.02 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้งของสาหร่ายต่อปริมาตรอาหาร ระหว่างการเพาะเลี้ยงพ่นด้วยอากาศผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ด้วยอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28$\pm$2 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสง 3,500 ลักซ์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ก่อนนำไปใช้ในการทดสอบ.



รูปที่ 1. สาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย (standard strains).

ก. *Chlorococcum* sp. TISTR 8973

ข. *Nostoc paludosum* TISTR 8978

ค. *Phormidium angustissima* TISTR 8979

2.2.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ

เตรียมแผ่นทดสอบที่เป็นอิฐมวลเบาขนาด 4x12x1 นิ้ว (กว้างxยาวxหนา) พร้อมทั้งเขียนรหัสของตัวอย่างสารต้านสาหร่ายและตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีที่เตรียมขึ้น 2 ระดับคุณภาพ คือ ฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) และฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) (โดยฟิล์มสีชั้นคุณภาพเป็นฟิล์มสีที่มีความเข้มข้น (สัดส่วน) ของปริมาณผงสีน้อยแต่มีสารยึด (binder) มาก ทำให้ฟิล์มสีมีความหนาแน่นสูง รูพรุนน้อยจึงทำให้สารต้านสาหร่ายที่ผสมลงไปมีความคงทนต่อการชะล้างด้วยน้ำได้ดีกว่าฟิล์มสีชั้นทั่วไป ซึ่งมีความเข้มข้นของปริมาณผงสีมาก แต่สารยึดน้อย ฟิล์มสีจึงมีความหนาแน่นต่ำ, รูพรุนมาก ทำให้สารต้านสาหร่ายที่ผสมลงไปถูกชะล้างด้วยน้ำได้ง่ายกว่า) รวมทั้งผลิตภัณฑ์สีที่สามารถรวบรวมได้ทั้งจากภายในและนอกประเทศแต่ละชนิดลงบนบริเวณด้านหลังของแผ่นทดสอบ จากนั้น ทาสีที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่ายแต่ละชนิดลงบนพื้นผิวของแผ่นทดสอบ โดยใช้แปรงทาสี วางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทาสีซ้ำด้านเดิมอีก 1 ครั้ง (เป็นการเลียนแบบการทาสีจริงซึ่งจะมีการทาอย่างน้อย 2 ครั้ง) และวางผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

สำหรับชนิดและความเข้มข้นของสารต้านสาหร่ายที่ผสมในเนื้อสี/ผลิตภัณฑ์สีที่ใช้ในการทดสอบ มีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สารต้านสาหร่ายทางการค้าและผลิตภัณฑ์สีที่ใช้ในการทดสอบภาคสนาม

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี[1]	ความเข้มข้น[2] (ppm)	รหัส[3]
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	ไม่ผสมสารต้านสาหร่าย	T050090#15
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC)	ไม่ผสมสารต้านสาหร่าย	All-In-One
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	ไม่ผสมสารต้านสาหร่าย	Nippon exterior
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	ไม่ผสมสารต้านสาหร่าย	Colershied
5. algicide A	700	35/1
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion)		60/1
	1,400	35/2
		60/2
	2,800	35/3
		60/3
6. algicide C	600	35/10
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon : Irgarol dispersion)		60/10
	1,200	35/11
		60/11
	2,400	35/12
		60/12
7. algicide D	750	35/4
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate)		60/4
	1,500	35/5
		60/5
	3,000	35/6
		60/6
8. algicide F	650	35/7
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn : 40 เปอร์เซ็นต์ Irgarol)		60/7
	1,300	35/8
		60/8
	1,950	35/9
		60/9
9. algicide G	4,300	35/13
(43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)		60/13

ตารางที่ 1. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมี/ผลิตภัณฑ์สี[1]	ความเข้มข้นที่ใช้[2]	รหัส[3]
10. algicide H	2,500	35/14
(50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)		60/14
	5,000	35/15
		60/15
	7,500	35/16
		60/16
11. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#1
12. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#2
13. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#3
14. ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#4
15. ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#5
16. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#6
17. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#7
18. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#8
19. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#9
20. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#10
21. ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#11
22. ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#12
23. ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#13
24. ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#14
25. ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุความเข้มข้น	T050090#16

หมายเหตุ : [1]ไม่เลือก algicide B และ E มาใช้ทดสอบในขั้นตอนนี้เนื่องจากผลทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า ไม่มีความทนทานต่อการชะล้าง

[2]ทำการทดสอบความเข้มข้นละ 2 ซ้ำ

[3]รหัส 35 เป็นสี low PVC (pigment volume concentration) จัดเป็นสีชั้นคุณภาพ รหัส 60 เป็นสี high PVC (pigment volume concentration) จัดเป็นสีชั้นทั่วไป

2.2.3 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแผ่นทดสอบที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่ายในภาคสนามแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานลงบนแผ่นทดสอบ และชุดที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานลงบนฟิล์มสีที่ทาทับบนแผ่นทดสอบ โดยนำสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ ซึ่งกระตุ้นให้อยู่ในช่วงเจริญเติบโตเต็มที่มาใช้ในการทดลอง กรณีที่เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว *Chlorococcum* sp. TISTR 8973 นำไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (optical density; OD) ที่ความยาวคลื่น 1,000 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 8453) ให้มีค่าการดูดกลืนแสง 0.5 ส่วนสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย คือ *Nostoc paludosum* TISTR 8978 และ *Phormidium angustissimum* TISTR 8979 นำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ (tissue glider, Wheaton) ก่อนนำสาหร่ายไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ ที่ความยาวคลื่น 1,000 นาโนเมตร ให้มีค่าการดูดกลืนแสง 0.5 จากนั้น นำสาหร่ายที่ได้แต่ละสายพันธุ์ในปริมาตรที่เท่ากัน มาผสมรวมกันในรูปเซลล์แขวนลอย และนำสาหร่ายทดสอบที่เตรียมมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน (ใช้หัวเชื้อสาหร่ายประมาณ 3 มิลลิลิตรต่อแผ่น) วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้น นำแผ่นทดสอบไปวางบนแผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม.

ในการทดลองครั้งนี้มีชุดควบคุมทั้งหมด 4 ชุด ชุดควบคุมที่ 1 ที่เตรียมขึ้น (35 เปอร์เซ็นต์ PVC รหัส T050090#15) ชุดควบคุม 2-4 เป็นสีที่มีวางขายในท้องตลาด คือ ชุดที่ 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC) All-In-One ชุดที่ 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC) Nippon exterior และ ชุดที่ 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC) Colorshield.

การประเมินผล

ตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 3-5 เดือนโดยประมาณโดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้:

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ บนพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน และแผ่นทดสอบที่ได้คะแนนตั้งแต่ 0-6 ถือว่า ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (ASTM D 3274-95, 2002)

การวางแผ่นทดสอบที่มีสารต้านสาหร่ายแบบสุ่ม ดังแสดงในภาคผนวก ก ส่วนระยะเวลาการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในภาคต่างๆ ของประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. ระยะเวลาการวางแผ่นทดสอบและการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย

ขั้นตอนการทดสอบ	จ. เชียงใหม่	จ. ปทุมธานี	จ. เพชรบุรี	จ. ปราจีนบุรี	จ. ตรัง
1.ติดตั้งแผ่นทดสอบ	5 ก.ค. 2548	4 ก.ค. 2548	8 ก.ค. 2548	7 ก.ค. 2548	6 ก.ค. 2548
2.ตรวจประเมินครั้งที่ 1	23 พ.ย. 2548	20 พ.ย. 2548	22 พ.ย. 2548	20 พ.ย. 2548	21 พ.ย. 2548
3.ตรวจประเมินครั้งที่ 2	8 มี.ค. 2549	6 มี.ค. 2549	9 มี.ค. 2549	7 มี.ค. 2549	10 มี.ค. 2549
4.ตรวจประเมินครั้งที่ 3	31 พ.ค. 2549	29 พ.ค. 2549	1 มิ.ย. 2549	30 มิ.ย. 2549	2 มิ.ย. 2549
5.ตรวจประเมินครั้งที่ 4	31 ส.ค. 2549	2 ก.ย. 2549	24 ส.ค. 2549[1]	29 ส.ค. 2549	1 ก.ย. 2549
6.ตรวจประเมินครั้งที่ 5	20 พ.ย. 2549	14 ธ.ค. 2549	-	9 ก.ย. 2549	12 ธ.ค. 2549
7.ตรวจประเมินครั้งที่ 6	-[2]	2 พ.ค. 2550	-	8 ธ.ค. 2549	-[2]

หมายเหตุ : [1]ดำเนินการได้ถึงเดือนสิงหาคม เนื่องจากภายหลังจากนั้นแผงทดสอบถูกขโมย
[2]ไม่ตรวจประเมินซ้ำ เนื่องจากในการประเมินครั้งที่ 5 แผ่นทดสอบทั้งหมด (จ. เชียงใหม่) หรือเกือบทั้งหมด (จ. ตรัง) ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ

2.2.4 การสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ

ทำการสำรวจและจัดจำแนกชนิดของสาหร่ายที่สามารถเจริญบนแผ่นทดสอบด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ตามหลักอนุกรมวิธานของ Desikachary (1959), Prescott (1978) และ Yamagishi (1992).

3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

3.1 การสำรวจพื้นที่ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบและศึกษาสายพันธุ์สาหร่ายในภาคสนาม

ทำการสำรวจพื้นที่ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบภาคสนามในภาคต่างๆ ของประเทศไทยทั่วพื้นผิวอาคาร, พื้นดิน และแหล่งน้ำ จำนวน 5 แห่ง ดังนี้ ภาคเหนือ บริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่, ภาคกลาง บริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี และพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี, ภาคตะวันออก บริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี, ภาคใต้ บริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง รายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 2-6.

ส่วนผลการศึกษาสายพันธุ์สาหร่ายในภาคสนาม โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่พบว่า มีการเจริญเติบโตในบริเวณพื้นที่ทดสอบและทำการจัดจำแนกด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.

1) ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ พบสาหร่ายทั้งสิ้น 10 สกุล แบ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว 3 สกุล คือ *Chlorella, Chlorococcum* และ *Ulothrix* สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 6 สกุล คือ *Chroococcus*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Synechocystis*, *Scytonema* และไดอะตอม 1 สกุล คือ *Gomphonema*.

2) เทคโนธานี จ. ปทุมธานี

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี พบสาหร่ายทั้งสิ้น 29 สกุล แบ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว 14 สกุล คือ *Actinastrum, Chlorella, Chlorococcum*, *Coelastrum, Crucigenia*, *Dictyosphaerium, Didymocystis*, *Kirchneriella, Lepocinclis, Monoraphidium, Oocystis, Phacus*, *Scenedesmus* และ *Tetraedron* สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 10 สกุล คือ *Anabaena, Chroococcus*, *Cylindrospermopsis, Microcystis, Myxosarcina, Oscillatoria*, *Phormidium, Scytonema, Synechococcus* และ *Synechocystis* ไดอะตอม 5 สกุล คือ *Amphora*, *Gomphonema*, *Gyrosigma, Navicula* และ *Nitzschia*, ไดโนแฟลเจลเลต 1 สกุล คือ *Peridinium* และยูกลีนอยด์ 1 สกุล คือ *Euglena.*

3) พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี พบสาหร่ายทั้งสิ้น 11 สกุล แบ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว 1 สกุล คือ *Chlorococcum* และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 10 สกุล คือ *Anabaena*, *Calothrix*, *Chroococcus, Lyngbya*, *Myxosarcina*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Scytonema, Synechococcus* และ *Synechocystis.*

4) นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี พบสาหร่ายทั้งสิ้น 6 สกุล แบ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว 4 สกุล คือ *Chlorococcum, Neosporangiococcum, Spongiococcum* และ*Trentepohlia* สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 2 สกุล คือ *Anabaena* และ *Lyngbya.*

5) สวนยางพารา จ. ตรัง

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง พบสาหร่ายทั้งสิ้น 6 สกุล แบ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว 4 สกุล คือ *Chlorococcum*, *Klebsormidium*, *Neosporangiococcum* และ *Trentepohlia* และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 2 สกุล คือ *Gloeocapsa* และ *Lyngbya*

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สาหร่ายในสกุล *Chlorococcum, Nostoc* และ *Phormidium* มีความถี่ในการแพร่กระจายสูงในตัวอย่างพื้นผิวต่างๆ และสอดคล้องกับสายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้.

ตารางที่ 3. รายละเอียดของพื้นที่ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบและสภาพอากาศในภาคต่างๆ

ภาค	สถานที่	ลักษณะภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิอากาศ	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
				กรมอุตุนิยมวิทยา	ค่าที่วัดได้จากภาคสนาม[1]
เหนือ	ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว 174 หมู่ 12 ต. สุเทพ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50000 ระยะเวลาทดสอบ ก.ค. 2548 - พ.ย. 2549	- ภูเขาล้อมรอบด้วยอาคารบ้านเรือนที่ปลูกสร้างภายในป่าโปร่ง - พื้นที่เชิงเขามีความลาดชันสูง - พบสาหร่ายหรือไลเคนส์เจริญเติบโตแพร่กระจายทั้งบนผิวดิน, เปลือกไม้ และอาคารบ้านเรือน	- มีความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลชัดเจน - มีหมอกปกคลุมในตอนกลางคืนถึงช่วงสายและปกคลุมหนาแน่นในฤดูหนาวเกือบตลอดวัน ทำให้บรรยากาศมีความชื้นสูงในช่วงเวลาดังกล่าว - ความเข้มของแสงในพื้นที่ขึ้นกับความหนาแน่นของปริมาณหมอกและเมฆที่ปกคลุม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทั้งตามฤดูกาลและในรอบวัน - มีแนวลมพัดสอบจากเชิงเขาเป็นระยะๆ - ฤดูแล้ง (ก.พ.-พ.ค.) อากาศแห้งและแล้งจัด	สถานีดอยปุย - ปี 2548 (ก.ค. - ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 25.3 องศาเซลเซียส (12.0-39.0 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 84.7 เปอร์เซ็นต์ (44-98 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,013.3 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 82 วัน - ปี 2549 (ม.ค.-พ.ย.) อุณหภูมิเฉลี่ย 25.9 องศาเซลเซียส (14.8-40.5 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 78 เปอร์เซ็นต์ (34-99 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,500 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 160 วัน	ช่วงเวลาตรวจวัด 8.00-11.00 น. อุณหภูมิ 18-25 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 45-90 เปอร์เซ็นต์, ความเข้มแสง 3,500-7,500 ลักซ์ (มีการแปรผันสูงในช่วงกลางวัน ขึ้นกับปริมาณเมฆและหมอกที่ปกคลุม)

ตารางที่ 3. (ต่อ)

ภาค	สถานที่	ลักษณะภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิอากาศ	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
				กรมอุตุนิยมวิทยา	ค่าที่วัดได้จากภาคสนาม
กลาง	เทคโนธานี 35 หมู่ 3 ต. คลองห้า อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120 ระยะเวลาทดสอบ ก.ค. 2548 - พ.ค. 2550	- พื้นที่ราบค่อนข้างโล่ง, ล้อมรอบด้วยอาคารบ้านเรือน, ตึกสถานที่ราชการ, คูคลอง และอ่างเก็บน้ำพระราม 9 มีต้นไม้ปลูกกระจายในพื้นที่ไม่หนาแน่น - พบสาหร่ายเจริญเติบโตในแหล่งน้ำ	- มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และแสงแดดในปริมาณมากเกือบตลอดปี - มีความชื้นในบรรยากาศค่อนข้างต่ำ แม้จะอยู่ใกล้แหล่งน้ำเนื่องจากเป็นพื้นที่โล่งมีจำนวนต้นไม้ใหญ่ในพื้นที่น้อย	สถานีคลองหลวง - ปี 2548 (ก.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 28.8 องศาเซลเซียส (15.6-37.1 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 83.5 เปอร์เซ็นต์ (43-93 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 851.2 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 74 วัน - ปี 2549 (ม.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 29.3 องศาเซลเซียส (16.5-35.9 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 67 เปอร์เซ็นต์ (32-93 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,431.9 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 133 วัน - ปี 2550 (ม.ค.-พ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 27.0 องศาเซลเซียส (23.3-34.9 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69 เปอร์เซ็นต์ (40-97 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 239.1 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 15 วัน	ช่วงเวลาตรวจวัด 14.00-16.00 น. อุณหภูมิ 33-38 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 30-50 เปอร์เซ็นต์, ความเข้มแสง >100,000 ลักซ์

ตารางที่ 3. (ต่อ)

ภาค	สถานที่	ลักษณะภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิอากาศ	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
กลาง	พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120 ระยะเวลาทดสอบ ก.ค. 2548 - ส.ค. 2549	- พื้นที่ราบติดชายฝั่งทะเลโปร่ง ล้อมรอบด้วยอาคารและต้นไม้สูง - พบสาหร่ายเจริญเติบโตบนพื้นผิวอาคาร - มีประวัติการเกิดปัญหาราเจริญเติบโตบนฟิล์มสีที่ทาอาคารต่างๆ อย่างรุนแรง	- มีอุณหภูมิ, แสงแดด และความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกือบตลอดปี - ลมพัดผ่านตลอดเวลา บางฤดูกาลพาทรายปลิวค่อนข้างมาก	สถานีสนามบินหัวหิน - ปี 2548 (ก.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 27.7 องศาเซลเซียส (23.0-36.0 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74.7 เปอร์เซ็นต์ (42-90 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 824.2 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 84 วัน - ปี 2549 (ม.ค.-ส.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 28.1 องศาเซลเซียส (22.6-35.5 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 74 เปอร์เซ็นต์ (44-88 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 804.1 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 74 วัน	ช่วงเวลาตรวจวัด 11.00-13.00 น. อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 46-55 เปอร์เซ็นต์, ความเข้มแสง 15,000-20,000 ลักซ์

ตารางที่ 3. (ต่อ)

ภาค	สถานที่	ลักษณะภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิอากาศ	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
				กรมอุตุนิยมวิทยา	ค่าที่วัดได้จากภาคสนาม
ตะวันออก	นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี 616/1 หมู่ 9 ต. หนองกี่ อ. กบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี 25110 ระยะเวลาทดสอบ ก.ค. 2548 - ธ.ค. 2549	- พื้นที่ราบล้อมรอบด้วยอาคารโรงงานอุตสาหกรรม มีต้นไม้ปลูกกระจายในพื้นที่ไม่หนาแน่น - พบสาหร่ายเจริญเติบโตบนพื้นผิวอาคาร	- ช่วงฤดูฝน มีฝนตกค่อนข้างมาก และมีลมแรง - มีความชื้นในบรรยากาศค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นพื้นที่ค่อนข้างโล่ง และจำนวนต้นไม้ใหญ่ในพื้นที่มีน้อย - มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและแสงแดดในปริมาณมากเกือบตลอดปี	สถานี อ.เมือง - ปี 2548 (ก.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 27.2 องศา-เซลเซียส (20.7-36.7 องศา-เซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 80 เปอร์เซ็นต์ (38-97 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,274.2 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 86 วัน - ปี 2549 (ม.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 องศา-เซลเซียส (16.5-39.2 องศา-เซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73 เปอร์เซ็นต์ (25-94 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,489.1 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 128 วัน	ช่วงเวลาตรวจวัด 11.00-12.00 น. อุณหภูมิ 36-38 องศา-เซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 25-40 เปอร์เซ็นต์, ความเข้มแสง 17,000-มากกว่า 90,000 ลักซ์

ตารางที่ 3. (ต่อ)

ภาค	สถานที่	ลักษณะภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิอากาศ	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	
				กรมอุตุนิยมวิทยา	ค่าที่วัดได้จากภาคสนาม
ใต้	สวนยางพารา อ. เมือง จ.ตรัง ระยะเวลาทดสอบ ก.ค. 2548 - ธ.ค. 2549	-พื้นที่ราบในบริเวณสวนยางพาราที่ปลูกอย่างหนาแน่น -พบสาหร่ายเจริญเติบโตบนกำแพงอิฐบล็อก	- ร้อน, ชื้น, แสงแดดรำไรเกือบตลอดปี เว้นช่วงฤดูแล้งที่ต้นยางผลัดใบ ทำให้ความชื้นในบรรยากาศค่อนข้างต่ำและมีความเข้มแสงค่อนข้างสูง -สภาพภูมิอากาศโดยรวมมีช่วงฤดูฝนที่ค่อนข้างยาว (5-6 เดือน)	สถานีสนามบิน - ปี 2548 (ก.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 26.9 องศา-เซลเซียส (22.7-36.5 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 86.7 เปอร์เซ็นต์ (47-98 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,481.3 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 112 วัน - ปี 2549 (ม.ค.-ธ.ค.) อุณหภูมิเฉลี่ย 27.3 องศา-เซลเซียส (22.1-37.8 องศาเซลเซียส), ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82 เปอร์เซ็นต์ (30-98 เปอร์เซ็นต์ RH), ปริมาณน้ำฝนรวม 1,992.8 มิลลิเมตร, จำนวนวันที่ฝนตก 180 วัน	ช่วงเวลาทดสอบ 13.00-14.30 น. อุณหภูมิ 30-42 องศา-เซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 33-60 เปอร์เซ็นต์, ความเข้มแสง 7,000-41,700 ลักซ์

หมายเหตุ : [1] เป็นค่าที่ได้จากการวัดในภาคสนามเฉพาะช่วงที่ทำการตรวจประเมิน

รูปที่ 2. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่.

รูปที่ 3. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี.

รูปที่ 4. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี.

รูปที่ 5. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี.

รูปที่ 6. สภาพพื้นที่ที่ใช้ตั้งแผงวางแผ่นทดสอบ ณ สวนยางพารา จ. ตรัง.

ตารางที่ 4. สาหร่ายที่สำรวจพบในพื้นที่ตั้งแผงในภาคต่างๆ

สถานที่	ตัวอย่าง	กลุ่มสาหร่าย	สายพันธุ์สาหร่ายที่พบ
1. ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว	หิน	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorella* sp.
จ. เชียงใหม่		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Nostoc* sp., *Phormidium* sp.
	ดิน	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Nostoc* sp.
		ไดอะตอม	*Gomphonema* sp.
	เปลือกลำต้นมะขามป้อม 1	สาหร่ายสีเขียว	*Ulothrix* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Phormidium* sp., *Synechocystis aquatilis*, *Synechocystis elongatus*
	เปลือกลำต้นมะขามป้อม 2	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Phormidium* sp.
	เปลือกลำต้นสนจีน 1	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Anabaena* sp., *Phormidium* sp., *Scytonema* sp.
	เปลือกลำต้นสนจีน 2	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorella* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Nostoc commune, Phormidium* sp.
	เสา	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorella* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Phormidium* sp.
	พื้นผิวผนังปูนฉาบและทาสี	สาหร่ายสีเขียว	*Phormidium* sp., *Scytonema* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chlorococcum* sp.
	พื้นผิวผนังอิฐ	สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chroococcus* sp., *Lyngbya* sp.
	ก๊อกน้ำ	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Phormidium* sp.

ตารางที่ 4. (ต่อ)

สถานที่	ตัวอย่าง	กลุ่มสาหร่าย	สายพันธุ์สาหร่ายที่พบ
2. เทคโนธานี จ. ปทุมธานี	น้ำ	สาหร่ายสีเขียว	*Actinastrum gracillimum, Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp., *Coelastrum astroideum, Crucigenia* sp., *Dictyosphaerium pulchellum, Dictyosphaerium tetrachotomum, Didymocystis* sp., *Kirchneriella contorta, Kirchneriella* sp., *Lepocinclis* sp., *Monoraphidium mirabile, Oocystis lacustris, Phacus* sp., *Scenedesmus* sp., *Tetraedron hastaum*
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Anabaena* sp., *Chroococcus* sp., *Cylindrospermopsis raciborskii, Microcystis aeruginosa, Oscillatoria* sp., *Phormidium mucicola, Phormidium* sp., *Synechococcus* sp.
		ไดอะตอม	*Amphora* sp., *Gomphonema* sp., *Gyrosigma* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia palea, Nitzschia* sp.
		ไดโนแฟลเจลเลต	*Peridinium* sp.
		ยูกลีนอยด์	*Euglena* sp.
	พื้นดิน	สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chroococcus minutus, Oscillatoria* sp.
		ไดอะตอม	*Gomphonema* sp.
	กำแพงปูนเปลือย	สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chroococcus minutus, Oscillatoria subbrevis, Phormidium* sp.
	กำแพงทาสี	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Myxosarcina spectabilis, Oscillatoria* sp., *Scytonema* sp.
	พื้นปูนเปลือย	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp., *Monoraphidium griffithii*
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chroococcus turgidus, Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp.

ตารางที่ 4. (ต่อ)

สถานที่	ตัวอย่าง	กลุ่มสาหร่าย	สายพันธุ์สาหร่ายที่พบ
2. เทคโนธานี จ. ปทุมธานี (ต่อ)	ผนังอาคาร	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorogloea fritschii*
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Chroococcus* sp., *Oscillatoria tenuis, Scytonema* sp., *Synechocystis aquatilis*
	บ่อคอนกรีต	สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Myxosarcina spectabilis, Oscillatoria* sp., *Phormidium* sp.
3. พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี	พื้นปูนทาสี	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Anabaena* sp., *Calothrix* sp., *Chroococcus turgidus, Lyngbya* sp., *Myxosarcina* sp., *Nostoc* sp., *Phormidium* sp., *Scytonema hofmanni*, *Scytonema* sp., *Synechococcus* sp., *Synechocystis* sp.
4. นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี	พื้นดิน	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp., *Neosporangiococcum* sp., *Spongiococcum tetrasporum,Trentepohlia* sp.
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Anabaena* sp., *Lyngbya* sp.
5. สวนยางพารา จ. ตรัง	กำแพงอิฐบล็อก	สาหร่ายสีเขียว	*Chlorococcum* sp., *Gloeocapsa* sp., *Klebsormidium* sp., *Neosporangiococcum* sp., *Trentepohlia odorata*
		สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	*Lyngbya* sp.

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในภาคสนาม

3.2.1 ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่

บริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ เป็นบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกมากเป็นอันดับ 2 (242 วัน) รองจากพื้นที่สวนยางพารา จ. ตรัง (292 วัน) และมีปริมาณน้ำฝนรวมมากเป็นอันดับ 3 (2,513.3 มิลลิเมตร) รองจากสวนยางพารา (3,474.1 มิลลิเมตร) และนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี (2,763.3 มิลลิเมตร) ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ก.ค. 48- พ.ย. หรือ ธ.ค. 2549) เนื่องจากเป็นพื้นที่สูงบนเขาจึงมักมีหมอกปกคลุมทำให้ความเข้มแสงไม่สูงมากนัก (3,500-7,500 ลักซ์) ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูง (เฉลี่ย 78-84 เปอร์เซ็นต์) จึงเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ 5 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 5, ตารางที่ 10 และรูปที่ 7 พบว่า แผ่นทดสอบ algicide A, B, C, D, F, G และ H เริ่มมีสาหร่ายเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบที่มีความเข้มข้นต่ำ ในสารที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ และที่ความเข้มข้นทั้งต่ำและสูงในกลุ่มที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ เมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน ซึ่งเป็นช่วงแรกของฤดูฝน (ตรวจประเมินครั้งที่ 1) ส่วนใหญ่จะพบบนฟิล์มสีชั้นทั่วไป (60/1, 60/2, 60/10, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8 และ 60/16) และส่วนน้อยพบบนฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35/4, 35/5, 35/6 และ 35/15) โดยพบว่า มีความทนทานต่อสาหร่ายได้ทั้งตัวอย่างที่ผ่านการสเปรย์และไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสเปรย์สาหร่ายลงบนแผ่นทดสอบในช่วงแรกมิได้ทำให้เกิดปัญหาเร็วขึ้น การที่สีที่ไม่ผ่านเกณฑ์ในการตรวจประเมินครั้งแรกเป็นสีที่มีการเติมสารต้านสาหร่ายในกลุ่มของสังกะสีเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพบได้ทั้งบนฟิล์มสีชั้นคุณภาพและชั้นทั่วไป ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากสารออกฤทธิ์ในกลุ่มที่มีความอ่อนไหวต่อสภาพความเป็นเบสที่สูงของแผ่นทดสอบที่เกิดขึ้นจากการชะล้างแผ่นในช่วงแรกของหน้าฝน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่พบว่า สารต้านสาหร่ายที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อชะล้างด้วยด่าง ดังแสดงในตารางที่ 7 ของรายงานส่วนที่ 1.

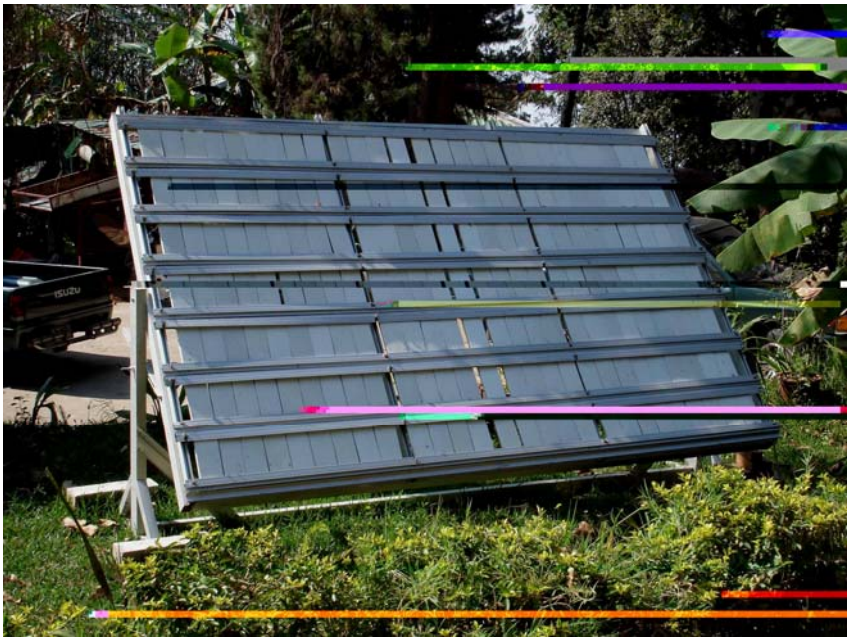
เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูร้อน (ตรวจประเมินครั้งที่ 2) พบว่า สาหร่ายที่พบบนแผ่นทดสอบไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เนื่องจากอากาศแห้งทำให้ปริมาณความชื้นที่สะสมบนแผ่นทดสอบลดลง เมื่อสาหร่ายไม่ได้รับความชื้นอย่างเพียงพอและต่อเนื่องทั้งจากแผ่นทดสอบและจากบรรยากาศจึงเริ่มตาย โดยสังเกตได้จากรอยคราบสีน้ำตาลจางบนแผ่นทดสอบ และยังพบว่า ฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบบางแผ่นเริ่มมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นหลังจากได้รับความร้อนและแสงแดดมาก เมื่อเริ่มเข้าหน้าฝน (การตรวจประเมินครั้งที่ 3) พบว่า มีสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นบนด้านหลังและด้านข้างแผ่นทดสอบที่ไม่ได้ทาสีหลายแผ่น ทั้งนี้เนื่องมาจากการสะสมความชื้นในรูพรุนของอิฐมวลเบา ในขณะที่พบสาหร่ายเจริญได้เบาบางกว่าบนแผ่นฟิล์ม เนื่องจากมีการดูดซับน้ำน้อยกว่า (hydrophobicity สูงกว่าอิฐด้านไม่ทาสี) แต่เมื่อเริ่มเข้าหน้าหนาวขณะที่สาหร่ายที่เจริญบนผิวด้านหลังและด้านข้างเริ่มตายลง เนื่องจากปริมาณน้ำสะสมน้อยลงสาหร่ายบนฟิล์มสีมีการเจริญเติบโตหนาแน่นขึ้น เนื่องมาจากยังคงมีการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศเกาะบนผิวหน้าฟิล์มสี จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายบน

ฟิล์มสีอย่างต่อเนื่อง หลังจากผ่านไปประมาณ 12 เดือน (การตรวจประเมินครั้งที่ 4) ซึ่งพบว่าตัวอย่างทั้งหมดรวมทั้งชุดควบคุมที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมที่เตรียมขึ้น และในชุดควบคุมที่ 2-4 ซึ่งเป็นสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (ซึ่งระยะเวลาในการทดสอบเพียง 8 เดือน) ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ โดยมีตัวอย่างที่ผ่านการประเมินอยู่เพียงเล็กน้อย ได้แก่ รหัส 60/12, 60/13, 35/3 และ 35/13 และตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีที่มีจำหน่ายในประเทศไทยรหัส T050050#3 และ T050050#9 ที่จำหน่ายในประเทศสิงคโปร์ รหัส T050050#4 และที่จำหน่ายในประเทศมาเลเซียรหัส T050050#5.

อย่างไรก็ตาม ในการตรวจประเมินครั้งที่ 5 (ภายหลังการทดสอบประมาณ 15 เดือน) ตัวอย่างแผ่นทดสอบทั้งหมดไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินเนื่องจากพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายปกคลุมทั่วทุกแผ่น เป็นที่น่าสังเกตว่า นอกจากสาหร่ายแล้ว ยังพบปัญหาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นทดสอบด้วย ในขณะที่ช่วงแรกพบสาหร่ายเจริญเติบโตแล้วหายไปในช่วงอากาศแห้ง แต่เชื้อรายังสามารถเจริญเติบโตแพร่กระจายบนแผ่นทดสอบได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเจริญเติบโตของเชื้อราอาจมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากการสะสมขององค์ประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ โดยเชื้อราซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในช่วงต่อมาเมื่อได้รับความชื้นอย่างพอเพียง.

ผลการทดสอบในพื้นที่ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความชื้นเป็นปัจจัยทางกายภาพหลักในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนฟิล์มสีของพื้นที่แห่งนี้ ในส่วนของคุณสมบัติของสีนอกจากจะพบว่า การเติมสารต้านสาหร่ายช่วยยืดอายุความทนทานของสีแล้ว คุณภาพของสี (เปอร์เซ็นต์ PVC) มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพของกายภาพที่ช่วยให้ฟิล์มสีมีความทนทานต่อสาหร่าย ซึ่งในที่นี้จะเห็นได้ว่าสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (มีความหนาแน่นของสีสูง, รูพรุนน้อย) จะมีความทนทานต่อสาหร่ายได้สูงกว่าสีที่มีเปอร์เซ็นต์ PVC ต่ำ (ความหนาแน่นของฟิล์มสีต่ำ, รูพรุนมาก).

จากการสำรวจชนิดของสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 14 พบสาหร่ายทั้งสิ้น 4 ชนิด แบ่งเป็น สาหร่ายสีเขียว 3 ชนิด คือ *Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp. และ *Stichococcus* sp. และสาหร่ายสีน้ำเงินแกม-เขียว 1 ชนิด คือ *Chroococcus* sp. โดยตรวจพบสาหร่ายสีเขียว *Chlorococcum* sp. ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับสายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ.



รูปที่ 7. การวางแผ่นทดสอบสี ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่.

ตารางที่ 5. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ (เริ่มวางแผ่นทดสอบ 5 ก.ค. 2548)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่									
			ครั้งที่ 1 (23 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (8 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (31 พ.ค. 2549)		ครั้งที่ 4 (31 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (20 พ.ย. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	T050090#15	10[2]	10	10	10	10	10	0	0	0	0
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์PVC)	-	All-In-One[3]	-[4]	-	10	-	10	-	0	-	0	-
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Nippon exterior[3]	-	-	10	-	10	-	0	-	0	-
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Colershied[3]	-	-	10	-	10	-	0	-	0	-
5. algicide A	700	35/1	10	9	10	10	10	10	1	4	0	0
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion)		60/1	0	1	10	10	5	5	0	0	0	0
	1,400	35/2	9	10	10	10	10	10	0	3	0	0
		60/2	3	1	10	10	0	0	0	0	0	0
	2,800	35/3	9	10	10	10	10	10	9	5	0	0
		60/3	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
6. algicide C	600	35/10	9	10	10	10	5	10	0	0	0	0
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon:Cybutryn dispersion)		60/10	2	2	10	10	10	10	0	0	0	0
	1,200	35/11	10	9	10	10	10	10	0	0	0	0
		60/11	9	10	10	10	10	10	0	0	0	0
	2,400	35/12	10	10	10	10	10	10	0	4	0	0
		60/12	10	10	10	10	10	10	5	10	0	0
7. algicide D	750	35/4	5	4	10	10	10	10	0	0	0	0
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate)		60/4	1	0	10	10	10	0	0	0	0	0
	1,500	35/5	4	5	10	10	10	10	0	0	0	0
		60/5	1	1	10	10	0	0	0	0	0	0
	3,000	35/6	5	7	10	10	10	10	0	0	0	0
		60/6	6	1	10	10	0	5	0	0	0	0

ตารางที่ 5. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่									
			ครั้งที่ 1 (23 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (8 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (31 พ.ค. 2549)		ครั้งที่ 4 (31 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (20 พ.ย. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
8. algicide F	650	35/7	9	9	10	10	10	10	0	0	0	0
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn: 40 เปอร์เซ็นต์Cybutryn)		60/7	2	0	10	10	0	0	0	0	0	0
	1,300	35/8	10	9	10	10	10	10	0	0	0	0
		60/8	0	2	10	10	0	5	0	0	0	0
	1,950	35/9	9	10	10	10	10	10	5	5	0	0
		60/9	10	10	10	10	10	5	0	0	0	0
9. algicide G	4,300	35/13	9	10	10	10	10	10	10	10	0	0
(43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)		60/13	10	10	10	10	10	10	10	9	0	0
10. algicide H	2,500	35/14	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
(50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)		60/14	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
	5,000	35/15	10	5	10	10	10	10	0	0	0	0
		60/15	6	6	10	10	0	5	0	0	0	0
	7,500	35/16	7	6	10	10	5	5	0	0	0	0
		60/16	3	0	10	10	0	0	0	0	0	0
11.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ[5]	T050090#1	9	10	10	10	10	10	0	0	0	0
12.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#2	10	10	10	10	10	10	3	0	0	0
13.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#3	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0
14.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#6	10	10	10	10	5	10	0	0	0	0
15.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#8	10	10	10	10	10	10	3	3	0	0
16.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#9	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0
17.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#10	9	10	10	10	0	5	0	0	0	0
18.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#16	10	-	10	-	5	-	0	-	0	0
19.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#4	10	10	10	10	10	10	9	8	0	0

ตารางที่ 5. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่									
			ครั้งที่ 1 (23 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (8 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (31 พ.ค. 2549)		ครั้งที่ 4 (31 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (20 พ.ย. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
20.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090 #11	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
21.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#5	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0
22.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090 #13	9	10	10	10	10	10	5	3	0	0
23.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090 #14	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
24.ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุ	T050090 #12	10	10	10	10	10	10	3	5	0	0

หมายเหตุ :

[1]เตรียมสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ และนำมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปวางบนแผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม

[2]ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 2-4 เดือน โดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน

[3]เป็นตัวอย่างที่นำมาวางเพิ่มภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 1

[4]ไม่ได้ทำการทดลอง

[5]ผลิตภัณฑ์สีของประเทศต่างๆ ซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของสารต้านสาหร่าย

2. เทคโนธานี จ. ปทุมธานี

การตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในบริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด (29 องศาเซลเซียส) มีจำนวนวันที่ฝนตกและปริมาณน้ำฝนรวมน้อยที่สุด 207 วัน และ 2,283.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ไม่รวมพื้นที่พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน) รวมทั้งมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำที่สุด (66-69 เปอร์เซ็นต์ RH) ในขณะที่มีค่าความเข้มแสงจากการตรวจวัดสูงที่สุดกว่า 100,000 ลักซ์ ในช่วงกลางวันของฤดูร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับสถานที่ทดลองอื่นๆ ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ก.ค. 2548-พ.ย. หรือ ธ.ค. 2549) ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งสภาพทางกายภาพดังกล่าวข้างต้นเป็นสภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

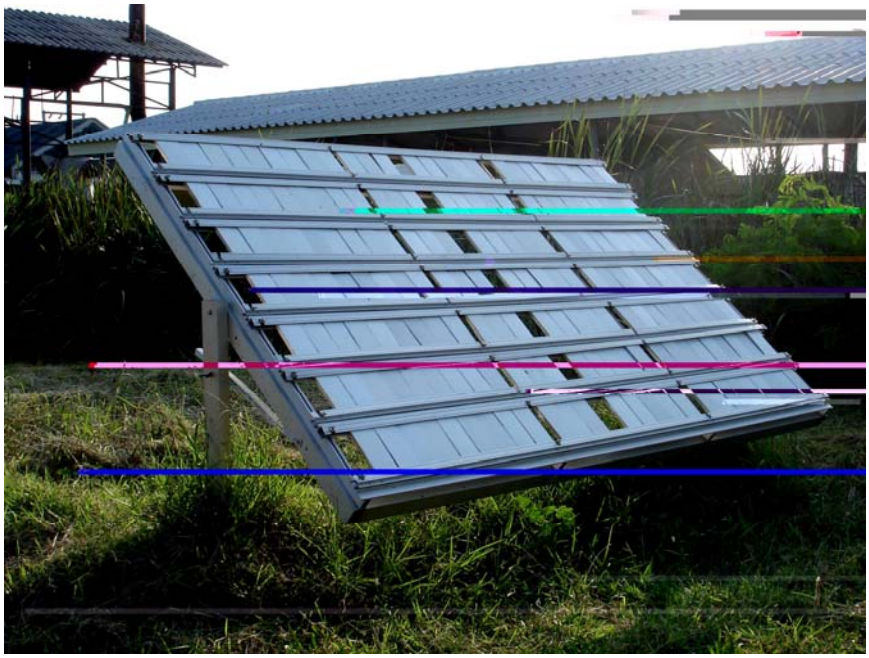
จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย ทั้งสิ้น 6 ครั้ง (ก.ค. 2548-พ.ค. 2550) ดังแสดงในตารางที่ 6, ตารางที่ 10 และรูปที่ 8 ในช่วงระยะเวลา 12 เดือนแรก แผ่นทดสอบทั้งชุดควบคุมและแผ่นทดสอบที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่ายทุกชนิด ทั้งไม่ผ่านและผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่าย ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย (0 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาพอากาศที่ร้อนและแล้งจัดของสถานที่โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนมีหลายวันที่อุณหภูมิสูงสุดในช่วงกลางวันสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และความเข้มแสงที่มากกว่า 100,000 ลักซ์ เป็นเวลาหลายชั่วโมงในช่วงดังกล่าว ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าพื้นที่อื่นๆ (ข้อมูลจากการตรวจวัด) ทำให้มีการสะสมความชื้นบนแผ่นทดสอบต่ำ แต่มีการสะสมความร้อนบนแผ่นทดสอบสูงเป็นเวลาหลายชั่วโมงในแต่ละวันทำให้สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยพบว่า ความเข้มแสงและรังสีอัลตราไวโอเลตที่สูงส่งผลให้ฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบจำนวนมากมีรอยแตกร้าวและมีการเปลี่ยนสี (discoloured) เป็นสีเทา-ดำหรือสีเทาเหลือง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นแล้ว พื้นที่เทคโนธานีมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ (การแตกร้าวและเปลี่ยนสี) ของฟิล์มสีมากที่สุด.

เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนอีกครั้ง (การตรวจประเมินครั้งที่ 5) น้ำฝนและความชื้นเริ่มเข้าแทรกซึมตามรอยแตกร้าวของฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบและมีการกักเก็บความชื้นไว้ภายในร่องระหว่างแผ่นฟิล์มสีกับผิวของอิฐมวลเบา รวมทั้งมีฝุ่นละอองจับตัวบนพื้นผิวแผ่นทดสอบบางแผ่น ทำให้สาหร่ายเริ่มเจริญเติบโตได้เล็กน้อยในปีที่ 2 อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาการทดสอบผ่านไปเป็นเวลา 23 เดือน ไม่ปรากฏว่ามีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบทั้งหมดรวมทั้งชุดควบคุม และบางแผ่นที่พบว่า มีสาหร่ายเจริญเติบโตยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้.

ผลการทดสอบในพื้นที่เทคโนธานีแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า ปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ คือ การมีความเข้มแสงที่สูงและมีความชื้นในอากาศที่ต่ำ เป็นปัจจัยทางกายภาพสำคัญที่เป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในพื้นที่ทดสอบแห่งนี้ กล่าวโดยสรุป คือ การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในพื้นที่นี้มิได้เกิดจากสารต้านสาหร่าย แต่เกิดจากปัจจัยทางกายภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากการดำเนินการทดสอบครั้งนี้ไม่มีการศึกษาถึงอิทธิพลปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหรือประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย จึงไม่สามารถทราบได้ว่าอุณหภูมิ (ความร้อน) และแสงแดด (รังสีอัลตราไวโอเลต) มีผลต่อคุณภาพและ

ประสิทธิภาพอย่างไรและเพียงใด ซึ่งการศึกษาดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องมีการขูดฟิล์มสีสกัด และวิเคราะห์สารต้านสาหร่ายที่ยังคงเหลืออยู่บนฟิล์มสีเป็นระยะๆ นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์ recovery (จากสารสกัด) ที่ต่ำยังทำให้ข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า รังสีอัลตราไวโอเลตและความร้อนมีผลทำให้ประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายลดลง ดังแสดงในตารางที่ 14 ในรายงานส่วนที่ 1.

จากการสำรวจชนิดของสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 15 พบสาหร่ายสีเขียว 1 ชนิด คือ *Chlorella* sp. และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 1 ชนิด คือ *Phormidium* sp. โดยสาหร่ายที่พบเป็นเดียวกับชนิดที่ตรวจพบได้จากแหล่งธรรมชาติในพื้นที่ซึ่งต่างชนิดกับสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้ทำการทดสอบโดยการสเปรย์ลงบนฟิล์มสีที่ทาทับบนแผ่นทดสอบในช่วงต้นของการทดลอง.



รูปที่ 8. การวางแผ่นทดสอบสี ณ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี.

ตารางที่ 6. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี (เริ่มวางแผ่นทดสอบ 4 ก.ค. 2548)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	เทคโนธานี จ. ปทุมธานี											
			ครั้งที่ 1 (20 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (6 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (29 พ.ค. 2549)		ครั้งที่ 4 (2 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (14 ธ.ค. 2549)		ครั้งที่ 6 (2 พ.ค. 2550)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	T050090#15	10[2]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	All-In-One[3]	-[4]	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Nippon exterior[3]	-	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Colershied[3]	-	-	10	-	10	-	10	-	7	-	10	-
5. algicide A	700	35/1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion)		60/1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
	1,400	35/2	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	9
		60/2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
	2,800	35/3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
		60/3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
6. algicide C	600	35/10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon:Cybutryn dispersion)		60/10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,200	35/11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	8
	2,400	35/12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
7. algicide D	750	35/4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate)		60/4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,500	35/5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
		60/5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	3,000	35/6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8

ตารางที่ 6. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	เทคโนธานี จ. ปทุมธานี											
			ครั้งที่ 1 (20 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (6 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (29 พ.ค. 2549)		ครั้งที่ 4 (2 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (14 ธ.ค. 2549)		ครั้งที่ 6 (2 พ.ค. 2550)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
8. algicide F (47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn: 40 เปอร์เซ็นต์ Cybutryn)	650	35/7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8
	1,300	35/8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	9
	1,950	35/9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
		60/9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
9. algicide G (43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)	4,300	35/13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
10. algicide H (50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)	2,500	35/14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
		60/14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
	5,000	35/15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	7
	7,500	35/16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
		60/16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
11.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ[5]	T050090#1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#9	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10
17.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	10
18.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#11	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10
20.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#13	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10
22.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#14	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	7	10
23.ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุ	T050090#12	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10

หมายเหตุ :

[1] เตรียมสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ และนำมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปวางบน แผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม

[2] ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 2-4 เดือน โดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน

[3] เป็นตัวอย่างที่นำมาวางเพิ่มภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 1

[4] ไม่ได้ทำการทดลอง

[5] ผลิตภัณฑ์สีของประเทศต่างๆ ซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของสารต้านสาหร่าย

3. พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี

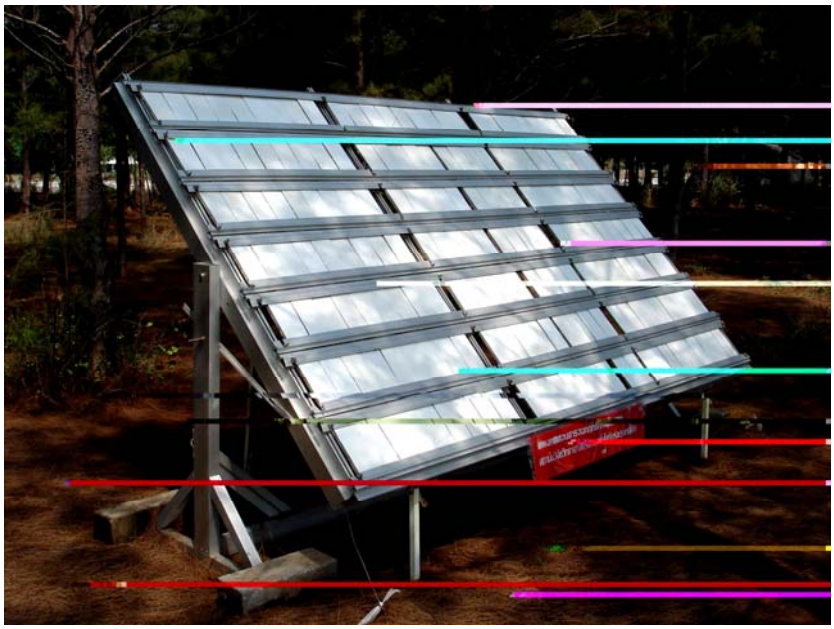
จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในบริเวณพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี ในช่วงที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 เดือน (ก.ค. 2548-ส.ค. 2549) มีวันที่ฝนตก 158 วัน และมีปริมาณน้ำฝนรวม 1,628.3 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วจะเห็นว่าเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย กล่าวคือ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาและเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องทดลองของ ศจล. มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มแสงอยู่ในช่วง 15,000-20,000 ลักซ์ ซึ่งในภาพรวมเป็นสภาพเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

อย่างไรก็ตาม จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในภาคสนามทั้งสิ้น 4 ครั้ง ในระยะเวลา 14 เดือน (ก.ค. 2548-ส.ค. 2549) ดังแสดงในตารางที่ 7, ตารางที่ 10 และรูปที่ 9 พบว่า แผ่นทดสอบชุดควบคุมและแผ่นทดสอบที่มีส่วนผสมของสารต้านสาหร่ายทุกชนิด ทั้งไม่ผ่านและผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่าย ไม่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย (0 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ เนื่องมาจากในช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันในพื้นที่ที่ติดตั้งแผงน้อย แม้จะมีฝนตกในพื้นที่ใกล้เคียง คือ อ. หัวหิน (สอบถามจาก คุณมาลี เพ็งเจริญ เจ้าหน้าที่ดูแลสวนของมูลนิธิพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน) และเมื่อแผ่นทดสอบได้รับความชื้นจากน้ำฝนแล้วมีการระเหยอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนและมีลมพัดผ่านตลอดเวลาทั้งจากด้านหน้าแผงและด้านหลังแผง เนื่องจากการตั้งแผงทดสอบโดยหันหน้าเข้าหาทะเล ทำให้แผ่นทดสอบไม่สามารถเก็บสะสมความชื้นได้ (สังเกตจากด้านหลังแผ่นทดสอบที่อยู่ในสภาพแห้งไม่มีความชื้นสะสมเลย) รวมทั้งการวางแผงใต้ร่มเงาของต้นสนที่ร่มครึ้มเกือบตลอดวัน และมีช่วงเวลาได้รับแสงไม่ยาวนานนัก จึงจัดเป็นสภาพแวดล้อมเฉพาะที่ (microenvironment) ที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบ.

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตึกที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงซึ่งมีการฉาบพื้นผิวโดยการสะบัดปูน โดยไม่มีการปาดเรียบ บางส่วนของตึกซึ่งเป็นมุมอับ (ลมพัดผ่านได้น้อย) ที่ได้รับแสงอย่างเพียงพอและมีน้ำซึมจากชั้นบนสู่ชั้นล่างตลอดเวลาพบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นแนวยาวลงมา และแผ่กว้างตามปริมาณความชื้นที่สะสมโดยกระจายจากด้านบนสู่ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 10 นอกจากนี้ จากการสังเกตบนพื้นดินบริเวณใกล้เคียงกับที่วางแผงในส่วนที่เป็นหลุมบ่อเล็กๆ มีน้ำขัง และอยู่ภายใต้ร่มเงาของสนด้วยเช่นกันพบว่า มีสาหร่ายเจริญเติบโตได้แต่จะหายไปเมื่อน้ำแห้ง ผลการศึกษาและข้อมูลที่ได้จากการสังเกต แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัจจัยทางกายภาพในพื้นที่ทดสอบแห่งนี้ คือ ความชื้นเป็นปัจจัยหลัก และแสงสว่างเป็นปัจจัยรองมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย ในกรณีนี้แม้จะมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อนข้างสูง แต่ความชื้นสะสมบนแผ่นทดสอบต่ำ เนื่องจากการระเหยโดยลม ทำให้ความชื้นสะสมบนแผ่นทดสอบไม่สูงพอ ที่จะสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งผลทดสอบในพื้นที่พระราชนิเวศน์มฤคทายวันเป็นอีกแห่งที่แสดงให้เห็นว่า การยับยั้งการเจริญเติบโต

ของสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสีมิได้เกิดจากการทำงานของสารต้านสาหร่าย แต่เกิดจากปัจจัยทางกายภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

การตรวจประเมินแผ่นทดสอบสี ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี ทำได้ 4 ครั้ง เนื่องจากแผงทดสอบถูกขโมยไป ภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 4.



รูปที่ 9. การวางแผ่นทดสอบสี ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี.

รูปที่ 10. การเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวของตึกที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับสถานที่วางแผ่นทดสอบ.

ตารางที่ 7. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ.เพชรบุรี (เริ่มวางแผ่นทดสอบ 8 ก.ค. 2548)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ.เพชรบุรี							
			ครั้งที่ 1 (22 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (9 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (1 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (24 ส.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	T050090#15	10[2]	10	10	10	10	10	10	10
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	All-In-One[3]	-[4]	-	10	-	10	-	10	-
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Nippon exterior[3]	-	-	10	-	10	-	10	-
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Colershied[3]	-	-	10	-	10	-	10	-
5. algicide A	700	35/1	10	10	10	10	10	10	10	10
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn dispersion)		60/1	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,400	35/2	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/2	10	10	10	10	10	10	10	10
	2,800	35/3	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/3	10	10	10	10	10	10	10	10
6. algicide C	600	35/10	10	10	10	10	10	10	10	10
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon: Cybutryn dispersion)		60/10	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,200	35/11	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/11	10	10	10	10	10	10	10	10
	2,400	35/12	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/12	10	10	10	10	10	10	10	10
7. algicide D	750	35/4	10	10	10	10	10	10	10	10
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl dithiocarbamate)		60/4	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,500	35/5	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/5	10	10	10	10	10	10	10	10
	3,000	35/6	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/6	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 7. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ.เพชรบุรี							
			ครั้งที่ 1 (22 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (9 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (1 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (24 ส.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
8. algicide F	650	35/7	10	10	10	10	10	10	10	10
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn: 40 เปอร์เซ็นต์ Cybutryn)		60/7	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,300	35/8	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/8	10	10	10	10	10	10	10	10
	1,950	35/9	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/9	10	10	10	10	10	10	10	10
9. algicide G	4,300	35/13	10	10	10	10	10	10	10	10
(43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)		60/13	10	10	10	10	10	10	10	10
10. algicide H	2,500	35/14	10	10	10	10	10	10	10	10
(50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)		60/14	10	10	10	10	10	10	10	10
	5,000	35/15	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/15	10	10	10	10	10	10	10	10
	7,500	35/16	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/16	10	10	10	10	10	10	10	10
11.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย[2]	ไม่ระบุ[5]	T050090#1	10	10	10	10	10	10	10	10
12.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#2	10	10	10	10	10	10	10	10
13.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#3	10	10	10	10	10	10	10	10
14.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#6	10	-	10	10	10	10	10	10
15.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#7	10	-	10	-	10	-	10	-
16.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#8	10	10	10	10	10	10	10	10
17.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#9	10	10	10	10	10	10	10	10
18.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#10	10	10	10	10	10	10	10	10
19.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#16	10	-	10	-	10	-	10	-

ตารางที่ 7. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ.เพชรบุรี							
			ครั้งที่ 1 (22 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (9 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (1 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (24 ส.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
20.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ[3]	T050090#4	10	10	10	10	10	10	10	10
21.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#11	10	10	10	10	10	10	10	10
22.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#5	10	10	10	10	10	10	10	10
23.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#13	10	10	10	10	10	10	10	10
24.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#14	10	10	10	10	10	10	10	10
25.ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุ	T050090#12	10	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ :

[1]เตรียมสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ และนำมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปวางบนแผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม

[2]ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 2-4 เดือน โดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน

[3]เป็นตัวอย่างที่นำมาวางเพิ่มภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 1

[4]ไม่ได้ทำการทดลอง

[5]ผลิตภัณฑ์สีของประเทศต่างๆ ซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของสารต้านสาหร่าย

4. นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี

จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี เป็นพื้นที่มีจำนวนวันที่ฝนตกมากเป็นอันดับ 3 (214 วัน), รองจากพื้นที่สวนยางพารา จ. ตรัง (292 วัน) และศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ (242 วัน) แต่มีปริมาณน้ำฝนมากเป็นอันดับ 2 (2,763.3 มิลลิเมตร) รองจากพื้นที่สวนยางพารา (3,474.1 มิลลิเมตร) ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ก.ค. 2548-พ.ย. หรือ ธ.ค. 2549) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27-29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73-80 เปอร์เซ็นต์ มีปัจจัยด้านความเข้มแสงอยู่ในช่วง 17,000-มากกว่า 90,000 ลักซ์ (ในช่วงฤดูร้อน) โดยมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและความเข้มแสงสูงเกือบตลอดปี เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วจะเห็นว่าเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.

จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายทั้งสิ้น 6 ครั้ง (ก.ค. 2548-ธ.ค. 2549) ผล ดังแสดงในตารางที่ 8, ตารางที่ 10 และรูปที่ 11 พบว่า แผ่นทดสอบ algicide A, B, C, D, F, G, H รวมทั้งผลิตภัณฑ์สีประเทศต่างๆ เมื่อครบกำหนด 4 เดือน (ตรวจประเมินครั้งที่ 1) หลังการวางแผ่นทดสอบซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน เริ่มมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นบนพื้นผิวแผ่นทดสอบและตกเกณฑ์การยอมรับ (คะแนน $\leq$ 6) ในตัวอย่างสีรหัส 60/1, 60/2, 60/10, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/14, 60/15, 35/5 และ 35/16 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่เกิดปัญหาเป็นสีชั้นทั่วไปและปัญหาที่เกิดพบในตัวอย่างทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายในจำนวนเท่าๆ กัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นฟิล์มสีที่ผสมสารต้านสาหร่ายในกลุ่มสังกะสีเช่นเดียวกับที่พบในการทดสอบที่ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ ซึ่งสารต้านสาหร่ายในกลุ่มดังกล่าวจะมีความอ่อนไหวต่อสภาพความเป็นด่างที่ถูกชะล้างจากอิฐในช่วงฤดูฝน และเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูร้อน (ตรวจประเมินครั้งที่ 2-4) พบว่า สาหร่ายดังกล่าวไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เนื่องจากความชื้นระเหยสู่อากาศทำให้แผ่นทดสอบไม่สามารถเก็บความชื้นได้ เมื่อสาหร่ายไม่ได้รับความชื้นจึงเริ่มตายโดยสังเกตได้จากรอยคราบสีน้ำตาลจางบนแผ่นทดสอบ นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบเริ่มมีรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับความร้อนและแสงแดดมาก และเมื่อเริ่มมีฝนตก ซึ่งพื้นที่นี้เป็นพื้นที่มีฝนตกค่อนข้างแรงพบว่า คราบต่างๆ ที่เกิดจากซากสาหร่ายจะถูกชะโดยน้ำฝนทำให้ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนฟิล์มสี (ตรวจประเมินครั้งที่ 5 และ 6) อย่างไรก็ตาม ในแผ่นที่มีการแตกร้าวของฟิล์มสีพบว่า น้ำฝนเข้าแทรกซึมตามรอยแตกร้าวของฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบ ซึ่งความชื้นจากน้ำฝนจะช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยพบการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นมาบนฟิล์มสีอีกครั้ง จากการสังเกตประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายที่แสดงให้เห็นในช่วงฤดูฝน โดยเฉพาะฤดูฝนแรก (ตรวจประเมินครั้งที่ 1) พบว่า คุณภาพของสีมีผลต่อการชะล้างสารต้านสาหร่ายอย่างเด่นชัด โดยสีชั้นคุณภาพจะมีรูพรุนน้อย ความหนาแน่นมาก เมื่อถูกน้ำฝนชะจึงทำให้สารต้านสาหร่ายออกมาในปริมาณน้อยกว่าสีชั้นทั่วไป ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายจึงสูงกว่าสีชั้นทั่วไป อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 18 เดือน พบว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่ยังคงสภาพที่ดี ในส่วนของบางตัวอย่างที่พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายก็ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามจากการสังเกตเมื่อประเมินตัวอย่างแผ่นทดสอบหลังฤดูฝนในครั้งที่ 2 แม้จะไม่พบว่า มีสาหร่ายขึ้นบนฟิล์มสี ส่วนที่สัมผัสแสงโดยตรง แต่พบว่าสาหร่ายเจริญบนฟิล์มสีส่วนที่ถูกคาดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (เพื่อกันแผ่นทดสอบตก

หรือปลิว) พบว่า หลายตัวอย่างมีสาหร่ายเจริญเติบโตในส่วนนี้ ซึ่งได้รับแสงน้อยกว่าและสะสมความชื้นได้นานกว่า เป็นการแสดงให้เห็นเช่นกันว่า การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในพื้นที่ทดลองนี้มิได้เกิดจากผลของสารต้านสาหร่าย แต่ปัจจัยหลักน่าจะเกิดจากการมีความเข้มแสงที่สูงเกินไป (จึงพบว่ามีสาหร่ายเกิดเฉพาะในส่วนที่ถูกพรางแสง) และมีการกักเก็บความชื้นในบริเวณช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะกับผิวหน้าฟิล์มสี ซึ่งมีคุณสมบัติ นอกจากนี้ ความเข้มแสงที่สูงยังมีส่วนลดการสะสมความชื้นของแผ่นทดสอบ ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในส่วนที่สัมผัสแสงโดยตรง.

จากการสำรวจชนิดของสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 16 พบสาหร่ายทั้งสิ้น 3 ชนิด แบ่งเป็น สาหร่ายสีเขียว 1 ชนิด คือ *Chlorella* sp. และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 2 ชนิด คือ *Chroococcus* sp. และ *Myxosarcina* sp. โดยสาหร่ายที่พบเป็นชนิดเดียวกับที่ตรวจพบได้จากแหล่งธรรมชาติ.

รูปที่ 11. การวางแผ่นทดสอบสี ณ นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี.

ตารางที่ 8. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี (เริ่มวางแผ่นทดสอบ 7 ก.ค. 2548)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี											
			ครั้งที่ 1 (20 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (7 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (30 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (29 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (9 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 6 (8 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	T050090#15	10[2]	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	All-In-One[3]	-[4]	-	10	-	10	-	10	-	9	-	10	10
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Nippon exterior[3]	-	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	10
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Colershied[3]	-	-	10	-	10	-	10	-	10	-	8	10
5. algicide A	700	35/1	8	9	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
	1,400	35/2	10	9	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10
		60/2	6	4	10	10	10	10	10	10	10	6	10	8
	2,800	35/3	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
		60/3	9	8	10	10	10	10	10	10	10	7	10	10
6. algicide C	600	35/10	10	7	10	10	10	10	10	10	9	9	10	8
(40 เปอร์เซ็นต์ Isoproturon:Cybutryn		60/10	4	3	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
dispersion)	1,200	35/11	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		60/11	9	7	10	10	10	10	10	10	9	6	10	10
	2,400	35/12	9	9	10	10	10	10	10	9	10	10	8	8
		60/12	9	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7. algicide D	750	35/4	4	2	10	10	10	10	10	10	9	9	10	10
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl		60/4	6	4	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10
dithiocarbamate)	1,500	35/5	3	4	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9
		60/5	3	1	10	10	10	10	10	10	0	5	10	10
	3,000	35/6	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10
		60/6	8	4	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10

ตารางที่ 8. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี											
			ครั้งที่ 1 (20 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (7 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (30 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (29 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (9 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 6 (8 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
8. algicide F	650	35/7	9	6	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn : 40		60/7	5	2	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10
	1,300	35/8	10	8	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9
		60/8	8	3	10	10	10	10	10	10	10	1	10	10
	1,950	35/9	8	9	10	10	10	10	10	10	10	9	8	9
		60/9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
9. algicide G	4,300	35/13	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
(43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea		60/13	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10. algicide H	2,500	35/14	8	9	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
(50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion		60/14	8	5	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
	5,000	35/15	10	5	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10
		60/15	3	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	7,500	35/16	5	5	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10
		60/16	10	6	10	10	10	10	10	10	9	10	10	9
11.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย[2]	ไม่ระบุ[5]	T050090#1	9	9	10	10	10	10	10	8	9	10	10	10
12.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#2	9	9	10	10	10	10	10	10	10	5	10	10
13.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#3	10	8	10	10	10	10	10	10	10	9	7	8
14.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#6	9	9	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10
15.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#8	9	7	10	10	10	10	10	10	10	6	10	10
16.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#9	10	8	10	10	10	10	10	10	9	10	7	8
17.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#10	9	8	10	10	10	10	8	10	0	0	10	10
18.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#4	10	9	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10
19.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#11	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 8. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น	รหัส	นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี											
			ครั้งที่ 1 (20 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (7 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (30 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (29 ส.ค. 2549)		ครั้งที่ 5 (9 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 6 (8 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
20.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#13	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10
22.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23.ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุ	T050090#12	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

หมายเหตุ :

[1]เตรียมสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ และนำมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปวางบนแผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม

[2]ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 2-4 เดือน โดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบ**ทั้งหมด** (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบดังนี้

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน

[3]เป็นตัวอย่างที่นำมาวางเพิ่มภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 1

[4]ไม่ได้ทำการทดลอง

[5]ผลิตภัณฑ์สีของประเทศต่างๆ ซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของสารต้านสาหร่าย

5. สวนยางพารา จ. ตรัง

จากการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นทดสอบในบริเวณสวนยางพารา จ.ตรัง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสม (ประมาณ 27 องศาเซลเซียส) มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (82-86.7 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณน้ำฝนรวม (3,474.1 มิลลิเมตร) และจำนวนวันที่ฝนตก (292 วัน) สูงสุดเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่นในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน (ก.ค. 2548-พ.ย. หรือ ธ.ค. 2549) ดังแสดงในตารางที่ 3 แผงทดสอบได้รับแสงพอเพียง เนื่องจากไม่ได้ตั้งใต้ร่มเงาของต้นยางพารา โดยตั้งแผงห่างจากทรงพุ่มของต้นยางประมาณ 5 เมตร.

ผลการประเมินพบว่า แผ่นทดสอบชุดควบคุม 1-2 มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปกคลุมเต็มแผ่นทดสอบ (ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ) เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 19 เดือน ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมที่เหลือไม่ผ่านเกณฑ์เมื่อเวลาผ่านไป 21 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 9, ตารางที่ 10 และรูปที่ 12.

แผ่นทดสอบ algicide A, B, C, D, F, G, H รวมทั้งผลิตภัณฑ์สีประเทศต่างๆ เริ่มมีสาหร่ายเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน ซึ่งเป็นช่วงแรกของฤดูฝน (ตรวจประเมินครั้งที่ 1) และยังคงมีฝนตกอย่างต่อเนื่องในการตรวจประเมินครั้งที่ 2 พบว่า สาหร่ายส่วนใหญ่ยังสามารถเจริญเติบโตได้บนแผ่นทดสอบและเริ่มมีแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เมื่อผ่านช่วงฤดูร้อนที่ต้นยางทิ้งใบฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบเริ่มมีรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยสะสมความชื้นได้ดีเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนอีกครั้ง (ตรวจประเมินครั้งที่ 4-5) น้ำฝนเริ่มแทรกซึมตามรอยแตกร้าวของฟิล์มสีบนแผ่นทดสอบ และมีการสะสมความชื้นไว้ภายในแผ่นทดสอบซึ่งเป็นแหล่งสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่ายและรา ทำให้มีการเจริญเติบโตโดยแพร่กระจายอยู่บนฟิล์มสี และมีแผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านไป จนในที่สุดมีแผ่นทดสอบที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับในการตรวจประเมินครั้งสุดท้าย (ครั้งที่ 5) เพียง 4 ตัวอย่างเท่านั้น โดยเป็นสีที่เตรียมขึ้นเพื่อการทดสอบนี้ 2 ตัวอย่าง ซึ่งทั้ง 2 ตัวอย่างเป็นสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) รหัส 35/9 และ 35/13 ส่วนอีก 2 ตัวอย่างที่เหลือเป็นสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดของประเทศไทย (รหัส T050090#3 และ T050090#9).

จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกิดจากปัจจัยส่งเสริมทางกายภาพ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก ซึ่งนอกจากจะส่งผลต่อการชะล้างสารต้านสาหร่ายออกจากฟิล์มสี ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันสาหร่ายลดลง ในขณะเดียวกัน ความชื้นที่สะสมในอากาศและแผ่นทดสอบจะเป็นปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เป็นอย่างดี.

ส่วนผลการสำรวจชนิดของสาหร่ายที่สามารถเจริญเติบโตบนแผ่นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 17 พบสาหร่ายทั้งสิ้น 5 ชนิด แบ่งเป็น สาหร่ายสีเขียว 4 ชนิด คือ *Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp., *Stichococcus* sp., *Trentepohlia odorata* และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว 1 ชนิด คือ *Chroococcus* sp. โดยตรวจพบสาหร่ายสีเขียว *Chlorococcum* sp. ซึ่งเป็นชนิด

เดียวกับสายพันธุ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ และยังพบสาหร่าย *Trentepohlia odorata* ซึ่งเป็นชนิดที่ก่อให้ปัญหาทางภาคใต้ของประเทศไทยและบริเวณทั่วเกาะสิงคโปร์ (Singapore Institute of Standards 1990).

รูปที่ 12. การวางแผ่นทดสอบสี ณ สวนยางพารา จ.ตรัง.

ตารางที่ 9. ผลการตรวจประเมินประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบริเวณสวนยางพารา จ.ตรัง (เริ่มวางแผ่นทดสอบ 6 ก.ค. 2548)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	สวนยางพารา จ.ตรัง									
			ครั้งที่ 1 (21 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (10 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (2 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (1 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 5 (12 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์
1.ชุดควบคุม 1 (35 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	T050090#15	9[2]	9	10	10	0	0	0	0	0	0
2.ชุดควบคุม 2 (35-40 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	All-In-One[3]	-[4]	-	10	-	0	-	10	-	0	0
3.ชุดควบคุม 3 (50 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Nippon exterior[3]	-	-	10	-	9	-	5	-	0	0
4.ชุดควบคุม 4 (60 เปอร์เซ็นต์ PVC)	-	Colershied[3]	-	-	10	-	10	-	5	-	0	0
5. algicide A	700	35/1	10	10	10	10	9	9	10	10	0	5
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn		60/1	9	9	7	10	0	1	0	10	0	0
dispersion)	1,400	35/2	10	10	10	8	9	9	10	9	6	4
		60/2	8	8	10	10	2	0	5	10	0	0
	2,800	35/3	10	10	8	10	8	9	10	9	4	4
		60/3	10	9	9	10	1	0	0	10	4	0
6. algicide C	600	35/10	10	10	10	10	10	8	10	5	0	0
(40 เปอร์เซ็นต์		60/10	9	10	10	9	1	0	0	0	0	0
Isoproturon:Cybutryn												
dispersion)	1,200	35/11	10	10	10	10	10	9	10	10	0	0
		60/11	10	8	10	10	0	0	0	0	0	0
	2,400	35/12	10	10	10	10	9	9	10	10	4	0
		60/12	10	10	10	10	4	9	5	5	0	0
7. algicide D	750	35/4	10	8	10	9	1	0	0	0	0	0
(100 เปอร์เซ็นต์ Zinc dimethyl		60/4	8	7	10	6	0	0	0	0	0	0
dithiocarbamate)	1,500	35/5	8	8	10	5	8	1	0	5	0	0
		60/5	7	5	7	0	0	0	0	0	0	0
	3,000	35/6	8	9	5	5	9	9	5	10	0	0
		60/6	8	5	5	2	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 9. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น (ppm)	รหัส	สวนยางพารา จ.ตรัง									
			ครั้งที่ 1 (21 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (10 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (2 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (1 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 5 (12 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์
8. algicide F	650	35/7	10	10	10	9	9	4	10	6	0	0
(47 เปอร์เซ็นต์ Terbutryn: 40 เปอร์เซ็นต์ Cybutryn)		60/7	7	9	10	10	0	2	0	0	0	0
	1,300	35/8	10	10	10	9	9	9	10	9	0	0
		60/8	9	9	10	9	0	0	0	0	0	0
	1,950	35/9	10	10	10	10	7	10	10	10	9	8
		60/9	10	10	7	10	3	4	0	2	0	0
9. algicide G	4,300	35/13	10	9	10	10	10	9	10	10	7	8
(43 เปอร์เซ็นต์ Dimethyl urea dispersion)		60/13	9	9	9	10	5	0	0	0	0	0
10. algicide H	2,500	35/14	10	8	10	9	3	5	10	10	0	0
(50 เปอร์เซ็นต์ Zinc pyrithion dispersion)		60/14	7	8	5	5	0	0	0	0	0	0
	5,000	35/15	10	10	10	7	4	0	0	10	0	0
		60/15	8	8	5	6	0	0	0	0	0	0
	7,500	35/16	9	9	5	5	0	3	0	10	0	0
		60/16	9	9	8	10	2	0	0	0	0	0
11.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ[5]	T050090#1	10	10	10	7	2	3	0	0	0	0
12.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#2	10	9	10	7	6	0	0	0	0	0
13.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#3	10	10	10	10	9	9	10	10	8	9
14.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#6	10	10	9	10	10	10	0	10	0	0
15.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#8	8	7	10	10	0	0	0	0	0	0
16.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#9	10	9	10	10	8	9	10	10	8	9
17.ผลิตภัณฑ์สีประเทศไทย	ไม่ระบุ	T050090#10	10	10	8	10	1	0	0	0	0	0
18.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#4	8	8	9	9	2	0	5	10	4	4
19.ผลิตภัณฑ์สีประเทศสิงค์โปร์	ไม่ระบุ	T050090#11	10	10	10	10	6	10	0	5	0	0

ตารางที่ 9. (ต่อ)

ตัวอย่างสารเคมีและผลิตภัณฑ์สี	ความเข้มข้น	รหัส	สวนยางพารา จ.ตรัง									
			ครั้งที่ 1 (21 พ.ย. 2548)		ครั้งที่ 2 (10 มี.ค. 2549)		ครั้งที่ 3 (2 มิ.ย. 2549)		ครั้งที่ 4 (1 ก.ย. 2549)		ครั้งที่ 5 (12 ธ.ค. 2549)	
			ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์[1]	ไม่ผ่านการสเปรย์	ผ่านการสเปรย์	ไม่ผ่านการสเปรย์
20.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#5	10	9	9	9	5	0	10	0	4	6
21.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#13	10	9	4	10	1	3	0	7	4	3
22.ผลิตภัณฑ์สีประเทศมาเลเซีย	ไม่ระบุ	T050090#14	10	10	10	10	9	8	10	10	0	0
23.ผลิตภัณฑ์สีประเทศเวียดนาม	ไม่ระบุ	T050090#12	10	10	10	10	4	6	10	10	3	8

หมายเหตุ :

[1]เตรียมสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย 3 สายพันธุ์ มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ที่บดเซลล์ และนำมาสเปรย์ให้ทั่วแผ่นทดสอบในแนวนอน วางผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปวางบนแผงทดสอบโดยวิธีการสุ่ม

[2]ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เมื่อครบกำหนดทุกๆ 2-4 เดือน โดยสังเกตการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งปกคลุมบนแผ่นทดสอบด้วยสายตา คิดเป็นร้อยละของพื้นผิวแผ่นทดสอบทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ coverage) และให้คะแนนผลทดสอบ ดังนี้

0 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
1 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
2 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
3 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
4 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
5 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
6 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
7 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 30 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
8 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
9 = พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ
10 = ไม่พบการเจริญเติบโตของสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวแผ่นทดสอบ

ทั้งนี้ผลการประเมินที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประเมินชุดเดียวกัน จำนวน 3 คน

[3]เป็นตัวอย่างที่นำมาวางเพิ่มภายหลังการตรวจประเมินครั้งที่ 1

[4]ไม่ได้ทำการทดลอง

[5]ผลิตภัณฑ์สีของประเทศต่างๆ ซึ่งไม่ได้ระบุความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ตารางที่ 10. สรุปผลการตรวจประเมินแผ่นทดสอบในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย จำนวน 5 แห่ง

สถานที่	แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (คะแนน ≤5)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ (ทำการตรวจประเมินผล 5 ครั้ง)	● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/4, 35/5, 35/6 (NS)[2] และ 35/15 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2, 60/4, 60/5, 60/6 (S)[2], 60/7, 60/8, 60/10 และ 60/16	-[1]	● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/10 และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/15 และ 60/16 ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#6 (NS), T050090#10 และ T050090#16	● ชุดควบคุม1-4 ● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/1, 35/2, 35/3(S), 35/4, 35/5, 35/6, 35/7, 35/8, 35/9, 35/10, 35/11, 35/12, 35/14 และ 35/15 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2, 60/3, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/9, 60/10, 60/11, 60/12(NS), 60/14, 60/15 และ 60/16 ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#1, T050090#2, T050090#6, T050090#8, T050090#10, T050090#11, T050090#12, T050090#13, T050090#14 และ T050090#16	แผ่นทดสอบทุกแผ่นไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ	ไม่ตรวจประเมินซ้ำ เนื่องจากในการประเมินครั้งที่ 5 แผ่นทดสอบทุกแผ่น ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ และฟิล์มสีอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพที่ดีดังเดิมได้อีก
เทคโนธานี จ. ปทุมธานี (ทำการตรวจประเมินผล 6 ครั้ง)	-	-	-	-	-	-
					● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สี T050090#14 (NS)	● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สี T050090#10 (NS) และ T050090#14 (NS)
พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี (ทำการตรวจประเมินผล 4 ครั้ง)	-	-	-	-	ไม่สามารถตรวจประเมินได้เนื่องจากแผงทดสอบถูกขโมย	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สถานที่	แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (คะแนน ≤5)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี (ทำการตรวจประเมินผล 6 ครั้ง)	● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/4, 35/5, 35/15 (S) และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2 (S), 60/4 (S), 60/5, 60/6 (S), 60/7, 60/8 (S), 60/10, 60/14 (S) และ 60/15	-	-	-	● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1 (S), 60/11 (S), 60/5 (S), 60/6 (S), 60/7 (S), และ 60/8 (S) ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#2 (S), T050090#8 (S) และ T050090#10	-
สวนยางพารา จ.ตรัง (ทำการตรวจประเมินผล 5 ครั้ง)	● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/5 (S) และ 60/6 (S)	● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/5 (S), 35/6 และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/5 (S), 60/6, 60/14, 60/15 (NS) ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#13 (NS)	● ชุดควบคุม 1-2 ● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/4, 35/5 (S), 35/7 (S), 35/14, 35/15 และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/9, 60/10, 60/11, 60/12 (NS), 60/13, 60/14, 60/15 และ 60/16 ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#1, T050090#2 (S), T050090#4, T050090#5, T050090#8,T050090#10, T050090#12 (NS) และ T050090#13	● ชุดควบคุม 1,3,4 ● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/4, 35/5, 35/10 (S), 35/6 (NS), 35/15 (NS) และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1 (NS), 60/2 (NS), 60/10, 60/11, 60/12, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/9, 60/13, 60/14, 60/15 และ 60/16 ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#1, T050090#2, T050090#6 (NS), T050090#8, T050090#10,T050090#4(NS), T050090#11, T050090#5 (S) และ T050090#13 (NS)	● ชุดควบคุม 1-4 ● ฟิล์มสีชั้นคุณภาพรหัส 35/1, 35/2, 35/3, 35/4, 35/5, 35/6, 35/7, 35/8, 35/10, 35/11, 35/12, 35/14, 35/15 และ 35/16 ● ฟิล์มสีชั้นทั่วไปรหัส 60/1, 60/2, 60/3, 60/4, 60/5, 60/6, 60/7, 60/8, 60/9, 60/10, 60/11, 60/12, 60/13, 60/14, 60/15 และ 60/16 ● ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สีรหัส T050090#1, T050090#2, T050090#4,T050090#5(NS), T050090#6, T050090#8, T050090#10, T050090#11, T050090#12 (NS), T050090#13 และ T050090#14	ไม่ตรวจประเมินซ้ำ เนื่องจากในการประเมินครั้งที่ 5 แผ่นทดสอบเกือบทั้งหมดไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ (มีเพียง 4 ตัวอย่างเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์) และอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพที่ดีดังเดิมได้อีก

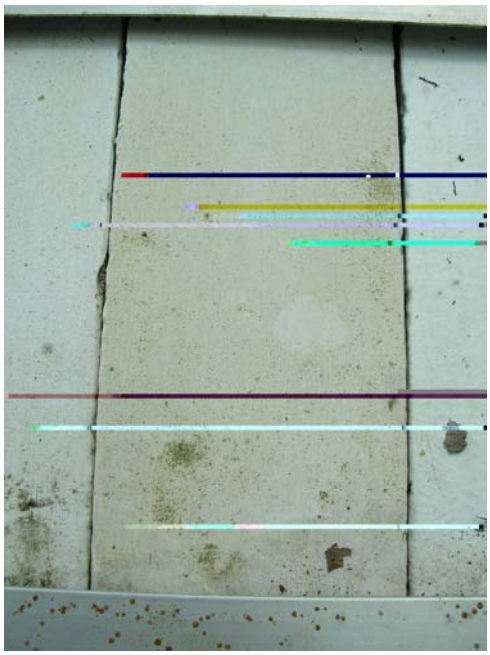
หมายเหตุ :

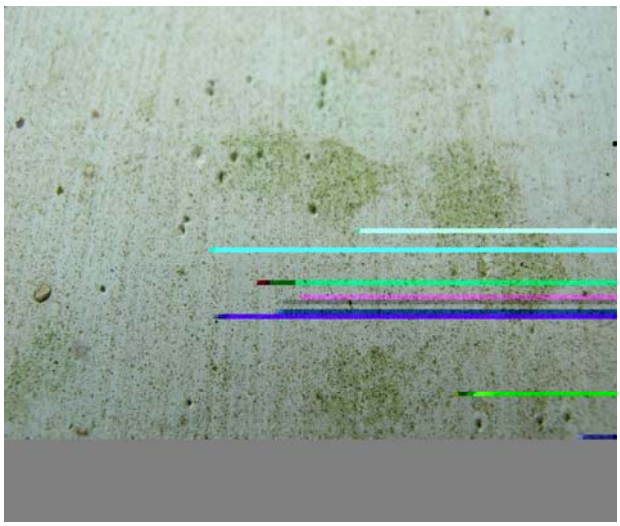
[1] แผ่นทดสอบทุกแผ่นผ่านเกณฑ์การยอมรับ

[2] NS=แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐาน, S = แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐาน กรณีไม่แสดงแปลว่าแผ่นทดสอบทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินทั้งคู่

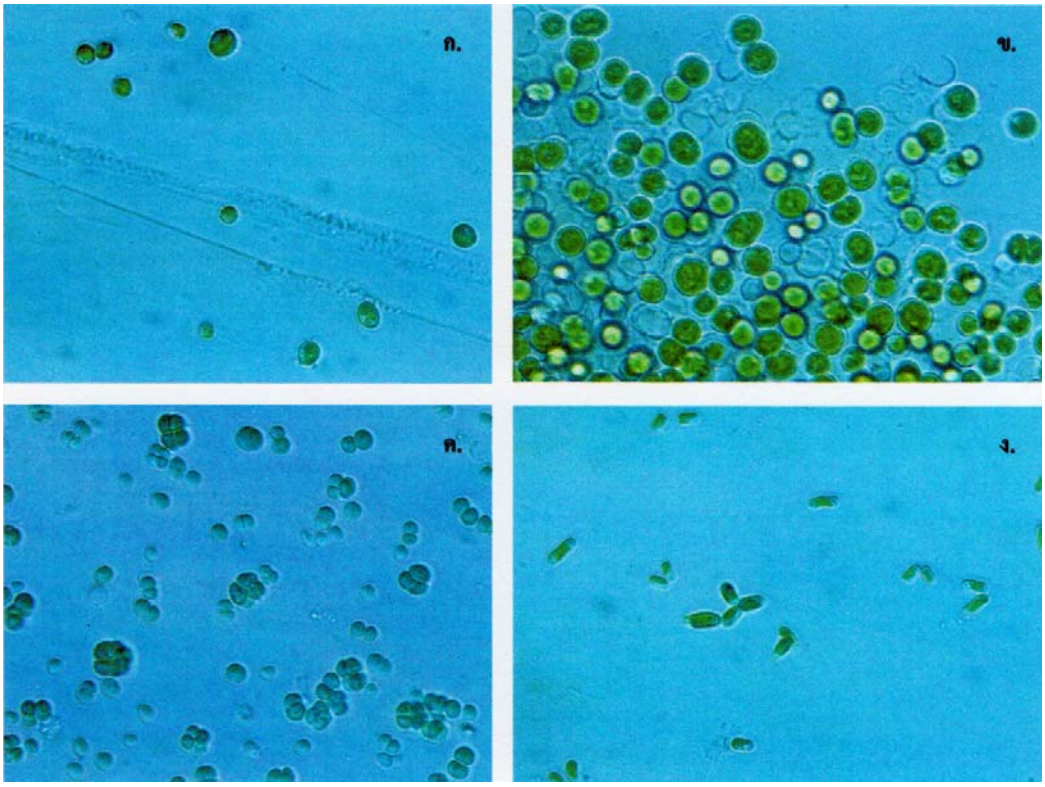
ตารางที่ 11. ชนิดของสาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ

สถานที่	สายพันธุ์สาหร่ายที่พบ
ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่	*Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp., *Chroococcus* sp., *Stichococcus* sp.
เทคโนธานี จ. ปทุมธานี	*Chlorella* sp., *Phormidium* sp.
พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี	ไม่พบสาหร่าย
นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี	*Chlorella* sp., *Chroococcus* sp., *Myxosarcina* sp.
สวนยางพารา จ.ตรัง	*Chlorella* sp., *Chlorococcum* sp., *Chroococcus* sp. *Stichococcus* sp., *Trentepohlia odorata*

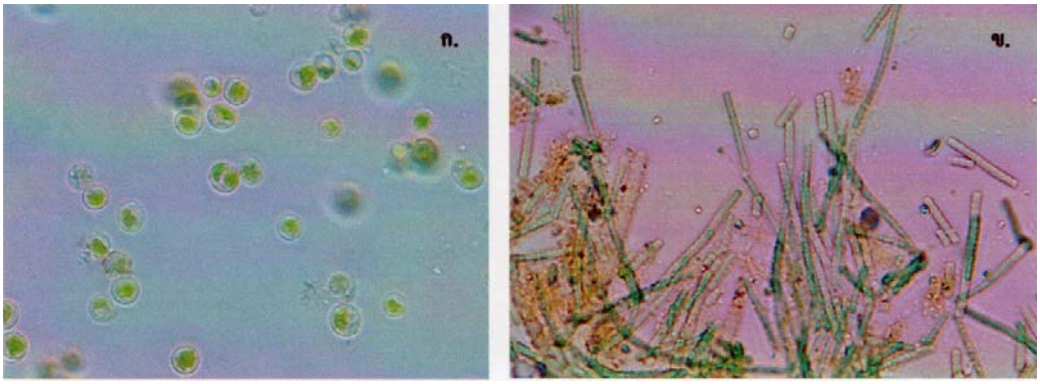




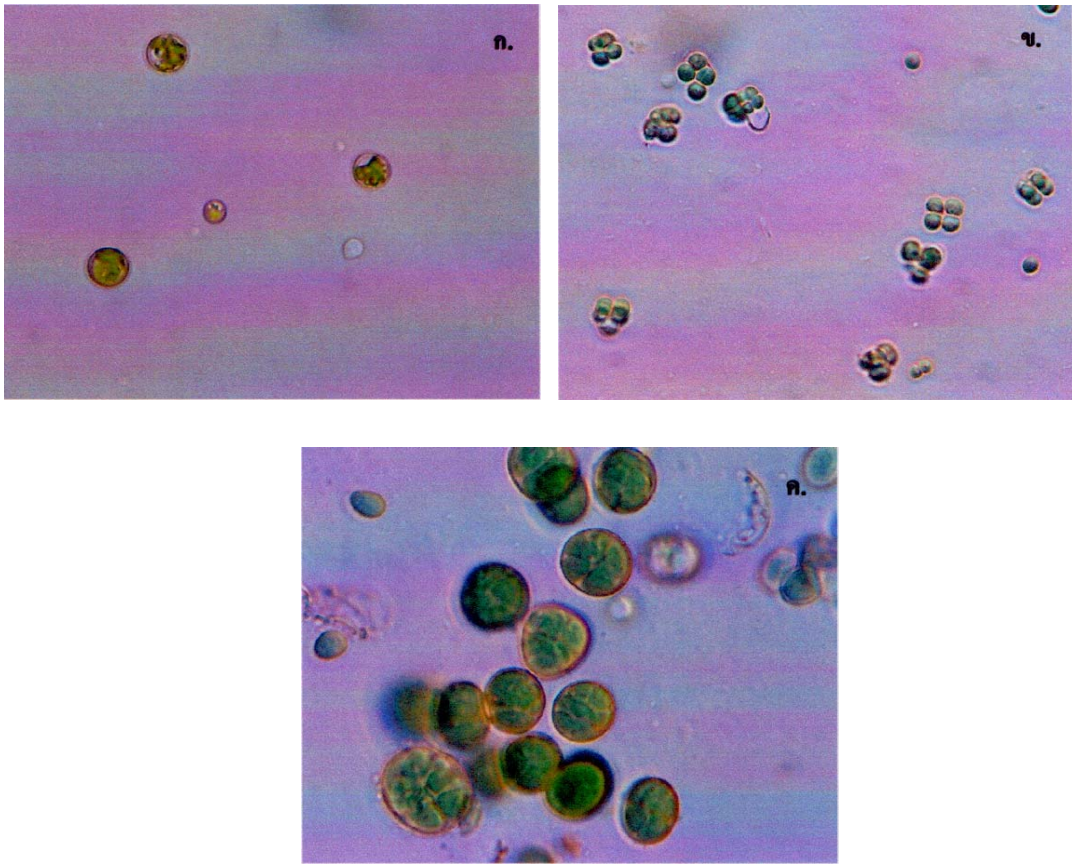
รูปที่ 13. ลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนพื้นผิวแผ่นทดสอบในภาคสนาม.



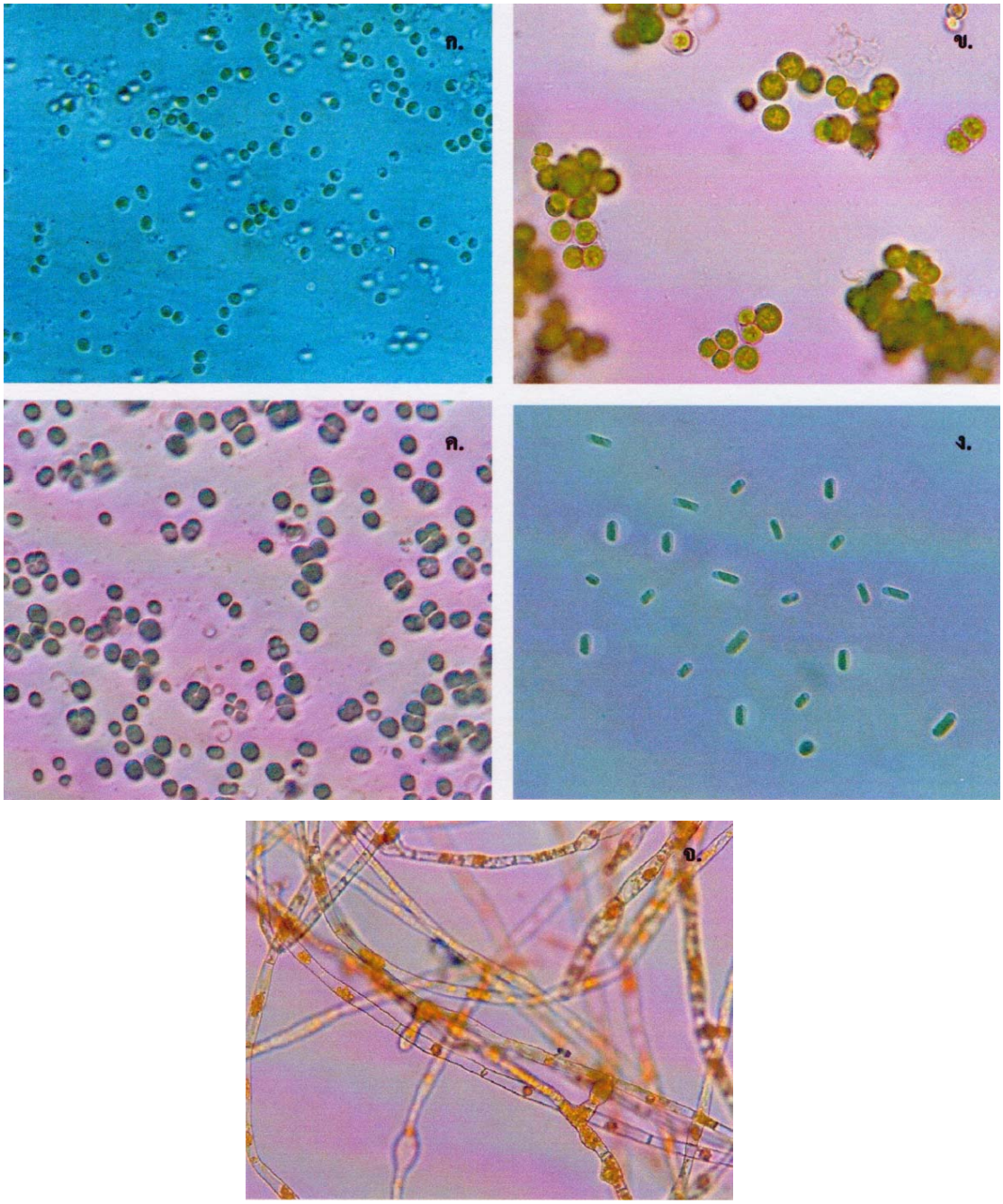
รูปที่ 14. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ บริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่.
ก. *Chlorella* sp. กำลังขยาย 400 เท่า,
ข. *Chlorococcum* sp. กำลังขยาย 400 เท่า,
ค. *Chroococcus* sp. กำลังขยาย 400 เท่า
และ ง. *Stichococcus* sp. กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 15. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ บริเวณเทคโนธานี จ. ปทุมธานี.
ก. *Chlorella* sp. กำลังขยาย 400 เท่า
และ ข. *Phormidium* sp. กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 16. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี. ก. *Chlorella* sp. กำลังขยาย 400 เท่า, ข. *Chroococcus* sp. กำลังขยาย 400 เท่า และ ค. *Myxosarcina* sp. กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 17. สาหร่ายที่สำรวจพบบนแผ่นทดสอบ บริเวณสวนยางพารา จ. ตรัง.
ก. *Chlorella* sp. กำลังขยาย 400 เท่า,
ข. *Chlorococcum* sp. กำลังขยาย 400 เท่า,
ค. *Chroococcus* sp. กำลังขยาย 400 เท่า,
ง. *Stichococcus* sp. กำลังขยาย 400 เท่า
และ จ. *Trentepohlia odorata* กำลังขยาย 200 เท่า

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อประมวลผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสีในภาพรวมในทุกพื้นที่แล้ว สรุปผลได้ว่า การสเปรย์หัวเชื้อสาหร่ายลงบนแผ่นทดสอบมิได้มีส่วนทำให้แผ่นทดสอบเกิดปัญหาเร็วขึ้นในทุกพื้นที่ พื้นที่ทดสอบ ณ ศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ. เชียงใหม่ และพื้นที่สวนยางพารา จ. ตรัง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความชื้นสูง เหมาะกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน โดยแผ่นทดสอบทั้งหมด หรือเกือบทั้งหมดไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 18 เดือน โดยมีสาเหตุมาจากการที่สารต้านสาหร่ายถูกชะล้างออกจากแผ่นฟิล์มสีโดยน้ำฝนและความชื้นเป็นหลัก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบชั้นของสี, ชนิด และความเข้มข้นของสารต้านสาหร่ายเดียวกัน ผลการทดสอบในพื้นที่ทั้ง 2 แห่ง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ฟิล์มสีชั้นคุณภาพ (35 เปอร์เซ็นต์ PVC) ซึ่งเป็นฟิล์มสีที่มีความหนาแน่นสูง, มีรูพรุนน้อย มีส่วนสำคัญในการยืดอายุการใช้งานด้านความต้านทานต่อสาหร่ายของฟิล์มสีเช่นกัน.

ในส่วนของพื้นที่ทดสอบ ณ เทคโนธานี จ. ปทุมธานี และพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ค่อนข้างเปิดโล่ง, น้ำฝนระเหยได้เร็ว เนื่องจากมีความเข้มแสงและอุณหภูมิในพื้นที่ค่อนข้างสูงตลอดปี ทำให้มีการสะสมความชื้นในอากาศน้อย ซึ่งสภาพดังกล่าวทั้งหมดเป็นสภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลการทดสอบที่ได้จากพื้นที่ทั้ง 2 แห่ง จึงใกล้เคียงกัน กล่าวคือ แม้เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดสอบแล้ว (18 และ 23 เดือน ตามลำดับ) แผ่นทดสอบทุกแผ่นรวมทั้งแผ่นควบคุมยังผ่านเกณฑ์การทดสอบทั้งหมด โดยไม่พบว่า มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายบนแผ่นฟิล์มสี หรือพบในปริมาณน้อย ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้สาหร่ายเจริญเติบโตไม่ได้ หรือเจริญได้ต่ำ ไม่ได้เกิดจากผลของสารต้านสาหร่าย แต่เกิดจากปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายทางกายภาพในพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ความเข้มแสง และอุณหภูมิ เนื่องจากความเข้มแสงที่สูงจะทำให้อุณหภูมิของทั้งบรรยากาศและแผ่นทดสอบสูง และทำให้ความชื้นต่ำ เนื่องจากการระเหยของน้ำ ทำให้สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สูงยังเป็นตัวทำลายสารต้านสาหร่ายด้วยเช่นกัน.

สำหรับพื้นที่ทดสอบ ณ พระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ. เพชรบุรี พบว่า เป็นพื้นที่ที่เป็นสิ่งแวดล้อมเฉพาะ เนื่องจากมีลมพัดผ่านแผงทดสอบเกือบตลอดเวลา ทำให้แม้จะอยู่ใกล้ทะเล แต่มีการสะสมความชื้นบนแผ่นทดสอบต่ำ สาหร่ายจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เป็นที่น่าเสียดายว่าแผงทดสอบถูกขโมย ภายหลังการติดตั้งแผงเป็นเวลาประมาณ 14 เดือน คณะผู้วิจัยจึงไม่สามารถติดตามประเมินผลต่อได้.

ผลการศึกษาในพื้นที่ครั้งนี้แสดงให้เห็นเช่นกันว่าสถานที่ที่มีสภาพทางกายภาพทั้งที่เอื้อและไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จะมีปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ สภาพพื้นที่ที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากการศึกษานี้พบว่า เกี่ยวข้องกับความชื้นเป็นหลัก ในขณะเดียวกันความชื้นก็เป็นปัจจัยที่ลดประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่าย เนื่องมาจากการชะล้างจากฟิล์มสี หรือในบางกรณีความชื้นยัง

ชะล้างสภาพความเป็นด่างจากแผ่นอิฐให้ขึ้นมาสู่ผิวหน้า ทำให้สารต้านสาหร่ายบางกลุ่มที่มีความอ่อนไหวต่อสภาพความเป็นด่างมีประสิทธิภาพลดลง ในกรณีของสภาพทางกายภาพของพื้นที่ที่ไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ มีความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สูง ซึ่งแม้จะเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่ก็เป็นตัวทำลายประสิทธิภาพของสารต้านสาหร่ายในขณะเดียวกัน.

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การพัฒนาการใช้สารต้านสาหร่ายในสี นอกจากจะต้องคำนึงถึงชนิด, ความเข้มข้น, ขั้นตอนการใส่ในกระบวนการผลิตแล้ว คุณสมบัติด้านความทนทานต่อความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการพัฒนาให้สารต้านสาหร่ายมีและคงประสิทธิภาพในระยะยาว โดยมีระบบการควบคุมการปลดปล่อยสู่ผิวหน้าฟิล์มอย่างเหมาะสม ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวนอกจากจะเป็นผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรงแล้ว ยังมีผลดีต่อสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะดินและแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นที่รองรับสารต้านสาหร่าย (ซึ่งจัดเป็นสารพิษประเภทหนึ่ง) ที่ถูกชะล้างออกจากฟิล์มสีด้วยเช่นกัน.

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการทดสอบในพื้นที่จริงจึงเป็นข้อมูลพื้นฐานของประเทศไทย ซึ่งยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาอย่างกว้างขวาง และเป็นระบบเช่นนี้มาก่อน แต่เนื่องจากการทดสอบในลักษณะเดียวกันนี้ในต่างประเทศ (ซึ่งส่วนใหญ่มีการศึกษาในยุโรปและสหรัฐอเมริกา) เป็นการศึกษาภายในของบริษัทผู้ผลิตสีหรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งเป็นความลับทางการค้าจึงไม่มีการเผยแพร่ข้อมูล ทำให้ขาดแคลนข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ.

อย่างไรก็ตาม มีข้อมูลที่น่าสนใจที่รายงานโดย Chew ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 (ช่วงเริ่มต้นที่มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์สีทนทานต่อสาหร่ายของประเทศสิงคโปร์) ที่ได้รายงานถึงการพัฒนาสีที่ทนทานต่อสาหร่าย โดยสมาคมผู้ผลิตสีในสิงคโปร์ (Singapore Paint Manufacturers Association) ที่ยอมรับถึงความจำเป็นในการผสมสารต้านสาหร่ายลงในสี พร้อมทั้งทำการพัฒนาสีในรูปแบบ Hi-Tech Paint ทำให้สีดังกล่าวมีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันสาหร่ายได้มากกว่า 5 ปี เมื่อทำการคำนวณต้นทุนของสีที่ผสมสารต้านสาหร่ายพบว่า ค่าใช้จ่ายสูงกว่าสีที่ใช้โดยทั่วไปถึง 53-63 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบกับความจำเป็นในการทาสีใหม่ ซึ่งคิดต้นทุนรวมต่อตารางเมตรต่อปีพบว่า สูงกว่าสีทั่วไปเพียง 19-23 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่าการใช้ผลิตภัณฑ์สีต้านสาหร่ายเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งสำหรับผู้บริโภคในการป้องกันและกำจัดสาหร่ายที่เจริญเติบโตบนฟิล์มสี เนื่องจากผลการศึกษาในประเทศไทยโดยคณะผู้วิจัยในครั้งนี้พบว่า ในพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะพบปัญหาบนฟิล์มสีส่วนใหญ่ภายในเวลาเพียงประมาณ 12-14 เดือนเท่านั้น ดังนั้น หากอุตสาหกรรมสีของไทยสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับสิงคโปร์จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยให้ผู้บริโภคประหยัดค่าใช้จ่ายในการทาสีลงได้มาก.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีต้านสาหร่ายสำหรับประเทศไทยนับเป็นโจทย์ที่ท้าทายต่ออุตสาหกรรมสี เนื่องจากสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศของไทยมีความแตกต่างหลากหลายกว่าสิงคโปร์ ซึ่งเป็นเกาะขนาดเล็กที่มีสภาพภูมิอากาศที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกันทั่วทั้งเกาะ

ด้วยเหตุนี้ บริษัทผู้ผลิตสีอาจจำเป็นต้องทำการวิจัยและพัฒนาสูตรสีที่เหมาะสมเพิ่มเติม ซึ่งนอกจากคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อสาหร่ายแล้ว คุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่อง เช่น การเกิดรอยร้าวของฟิล์มสี ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากการสะสมความชื้นตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มที่เกี่ยวเนื่องกับการเติมสารต้านสาหร่าย รวมทั้งคุณสมบัติทางชีวภาพที่สำคัญอีกประการของสีทาภายนอก คือ ความต้านทานต่อรา ทำให้ผู้ผลิตสีต้องศึกษาถึงแนวทางการพัฒนาสีชั้นคุณภาพให้เหมาะสมโดยมีคุณลักษณะและคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของ มอก. 2321-2549 อย่างครบถ้วน ทั้งเพื่อให้ได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์จาก สมอ. และไม่เกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้าในสภาพการใช้งานจริง.

5. เอกสารอ้างอิง

ASTM D3274-95. 2002. Standard Test Method for Evaluating Degree of Surface Disfigurement of Paint Films by Microbial (fungal or algal) Growth or Soil and Dirt accumulation. United States : ASTM International. pp. 382-384.

Chew, S.K. 1990. 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.

Desikachary, T.V. 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi : 686 p.

Prescott, G.W. 1978. How to Know the Freshwater Algae. Dubugue Iowa : Wm.C.Brown Company Publishers. 293 p.

Yamagishi, T. 1992. Plankton Algae in Taiwan (Formosa), Tokyo : Uchida Rokakuho, 252 p.

Singapore Institute of Standards. 1990. Specification for Algae Resistant Emulsion Paint for Decorative SS345. Singapore : Singapore Institute of Standards and Industrial Research. pp. 1-13.

Stainer, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazire, G. 1971. Purification and Properties of Unicellular Blue-Green Algae (order Chlorococcales). *Bact. Rev*., Vol. **35**, pp. 171-205.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1. แผงผังการวางแผ่นทดสอบบริเวณศูนย์วิจัยเห็ดเมืองหนาว จ.เชียงใหม่ โดยวิธีการสุ่ม

T050090#3	T050090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05					
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09					
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04					
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04					
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07					
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07					
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16					
60/07	T050090#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03					
60/12	T050090#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02					
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06					
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01					
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12					
T050090#15	T050090#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5					
T050090#16	T050090#16	Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield	T050090#16					
Nippon	T050090#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5					
T050090#3	T050090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05					
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09					
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04					
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04					
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07					
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07					
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16					
60/07	T050090#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03					
60/12	T050090#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02					
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06					
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01					
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12					
T050090#15	T050090#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5					
แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย				แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย							

ตารางที่ 2. แผงผังการวางแผ่นทดสอบบริเวณเทคโนธานี จ.ปทุมธานี โดยวิธีการสุ่ม

T05090#3	T05090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#1	60/14	60/16
60/07	T05009O#10	60/13	60/11	T05009O#11	60/06	35/03
60/12	T05009O#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12
T05090#15	T05090#4	T05090#15	T05090#4	T05090#5	T05090#6	T05090#5
แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย						
T05090#15		Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield	
T05090#3	T05090#4	Nippon	T05090#4	T05090#5	T05090#6	T05090#12
T05090#3	T05090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#1	60/14	60/16
60/07	T05009O#10	60/13	60/11	T05009O#11	60/06	35/03
60/12	T05009O#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12
T05090#15	T05090#4	T05090#15	T05090#4	T05090#5	T05090#6	T05090#5
แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย						
T05090#15		Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield	
T05090#3	T05090#4	Nippon	T05090#4	T05090#5	T05090#6	T05090#12
T05090#3	T05090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#1	60/14	60/16
60/07	T05009O#10	60/13	60/11	T05009O#11	60/06	35/03
60/12	T05009O#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12

ตารางที่ 3. แผงผังการวางแผ่นทดสอบบริเวณพระราชนิเวศน์มฤคทายวัน จ.เพชรบุรี โดยวิธีการสุ่ม

T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#1	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T05009#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
Nippon	T05009#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย
T05009#16	T05009#7	Colershied	All-In-One	All-In-One	Colershied	T050090#16	
T05009#15	T05009#4	Nipon	T050090#4	T050090#5	T05009#6	T05009#5	
T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T05009#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T05009#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T05009#2	T05009#1	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T05009#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
Nippon	T05009#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย
T05009#16	T05009#7	Colershied	All-In-One	All-In-One	Colershied	T050090#16	
T05009#15	T05009#4	Nipon	T050090#4	T050090#5	T05009#6	T05009#5	
T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T05009#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T05009#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#12	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T05009#2	T05009#1	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T05009#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	T050090#7	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย							

ตารางที่ 4. แผงผังการวางแผ่นทดสอบบริเวณ นิคมอุตสาหกรรมกบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี โดยวิธีการสุ่ม

T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
	T05009#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย
Nippon		Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield		
T05009#15	T05009#4	Nippon	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	
T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
	T05009#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย
Nippon		Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield		
T05009#15	T05009#4	Nippon	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5	
T05009#3	T05009#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05	
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09	
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04	
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04	
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07	
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07	
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16	
60/07	T05009#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03	
60/12	T05009#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02	
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06	
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01	
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12	
แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย							

ตารางที่ 5. แผงผังการวางแผ่นทดสอบบริเวณสวนยางพารา จ.ตรัง โดยวิธีการสุ่ม

T050090#3	T050090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01	T050090#8	35/09
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04
60/02	35/14	T050090#3	60/09		35/11	35/07
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16
60/07	T050090#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03
60/12	T050090#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12
	T050090#4	T050090#15	T050090#4	T050090#5	T050090#6	
Nippon		Colershield	All-In-One	All-In-One	Colershield	
T050090#15	T050090#4	Nippon	T050090#4	T050090#5	T050090#6	T050090#5
T050090#3	T050090#13	T050090# 1	35/01	T050090#9	T050090#12	60/05
60/08	60/09	T050090#14	35/05	60/01		35/09
35/15	60/03	T050090#11	T050090#13	T050090#10	35/16	60/04
35/03	35/02	T050090#9	T050090#14	35/10	60/15	35/04
60/02	35/14	T050090#3	60/09	60/10	35/11	35/07
35/08	60/14	35/11	T050090#1	T050090#2	35/13	60/07
35/07	60/04	35/06	T050090#2	T050090#12	60/14	60/16
60/07	T050090#10	60/13	60/11	T050090#11	60/06	35/03
60/12	T050090#8	35/13	35/04	60/08	60/13	60/02
60/01	35/16	60/10	35/14	35/15	60/03	35/06
35/10	60/11	60/06	60/05	35/08	35/05	35/01
60/16	35/12	60/15	35/09	35/02	35/12	60/12

แผ่นทดสอบที่ไม่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย

แผ่นทดสอบที่ผ่านการสเปรย์ด้วยสาหร่ายมาตรฐานสายพันธุ์ไทย