นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

Innovative Ready-To-Use Herbal and Extract Product to Eliminate Synthetic Chemical Residues

ดวงฤทัย นิคมรัฐ
ขวัญใจ นามมล
นิภา ทองพราว
จิรภัคร์ เทพประถม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัยโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๗
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

Innovative Ready-To-Use Herbal and Extract Product to Eliminate Synthetic Chemical Residues

ดวงฤทัย นิคมรัฐ
ขวัญใจ นามมล
นิภา ทองพราว
จิรภัคร์ เทพประถม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัยโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๗
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อวิจัย นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง
ชื่อผู้วิจัย ดวงฤทัย นิคมรัฐ ขวัญใจ นามมล นิภา ทองพราว และจิรภัคร์ เทพประถม
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
หน่วยงาน **คณะ**วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย ซึ่งมีศักยภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ที่ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากสมุนไพรที่ใช้เอทานอล 80% ที่ความเข้มข้น 0.05% สามารถลดการปนเปื้อนของสารเคมี 4 ชนิด คือ C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin โดยมีประสิทธิภาพที่น่าพอใจ เช่น สารสกัด Crystal Violet ลดลง 29.4% ขณะที่สารสกัด Methylene Blue ลดลงสูงถึง 70.6% นอกจากนี้ สารสกัดทั้ง 4 ชนิดนี้ไม่เป็นพิษต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ ยกเว้นสารสกัดใบยูคาลิปตัส ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus niger* ในระดับต่ำ โดยมีการลดลงประมาณ 10-20% บนอาหารแข็ง การทดลองในส่วนของการพัฒนาสูตรผสมของสารสกัดทั้ง 4 ชนิดในอัตราส่วน 1:1 พบว่าประสิทธิภาพรวมของสูตรนี้สามารถสูงเกิน 80% ในการลดการปนเปื้อนทั้งบนพื้นผิวและในน้ำ แต่ในกรณีของการใช้งานบนผ้าพบว่าประสิทธิภาพลดลงไม่เกิน 50% หากสารเคมีแห้งไม่เกิน 30 นาที อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของสารสกัดเหล่านี้จะลดลงหากเก็บไว้นานเกิน 3 เดือน เช่น สารสกัดใบรางจืดเมื่อใช้งานกับ Crystal Violet พบว่าประสิทธิภาพลดลง 21.6% สารสกัดใบยูคาลิปตัสเมื่อทำการทดสอบกับ Methylene Blue ลดลง 6% และสารสกัดเปลือกส้มโอต่อ Methylene Blue ลดลง 29.2% ในขณะที่สารสกัดอบเชยต่อ Safranin ลดลง 36.8% การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์จากสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิดนี้สามารถเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์จากธรรมชาติ โดยไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นมิตรต่อผู้ใช้ เนื่องจากสารสกัดเหล่านี้มาจากธรรมชาติและไม่มีสารกันบูด ซึ่งทำให้เหมาะสมกับการใช้งานในด้านความปลอดภัย ทั้งนี้ ควรเก็บสารสกัดไว้ไม่เกิน 3 เดือนเพื่อรักษาประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีที่สุด โดยทางเลือกนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่สมุนไพร แต่ยังส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในการจัดการกับสารเคมีตกค้างในชีวิตประจำวันอีกด้วย

คำสำคัญ : การกำจัด, สารสกัดสมุนไพร, สารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

Title Innovative Ready-To-Use Herbal and Extract Product to Eliminate Synthetic Chemical Residues

Author Duongruitai Nicomrat Khwanjai Nammon Nipa Thongprow Jirapak Thepprathom

Institute Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Year 2024

Abstract

The research focuses on developing a product from four herbal extracts: Andrographis paniculata, Eucalyptus leaves, grapefruit peels, and cinnamon, which can effectively eliminate synthetic chemical residues in wastewater and on contact surfaces. Experimental results show that extracts using 80% ethanol at a concentration of 0.05% significantly reduced contamination from four chemicals: C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue, and Safranin, with Methylene Blue showing a reduction of up to 70.6%. All four extracts were non-toxic to beneficial microorganisms, except for the Eucalyptus extract, which exhibited low toxicity to the growth of the fungus Aspergillus niger, showing a reduction of approximately 10-20% on solid media. The development of a combined formula using a 1:1 ratio of the four extracts demonstrated overall efficiency exceeding 80% in reducing contamination on surfaces and in water. However, when applied to fabrics, effectiveness decreased to no more than 50% if the chemicals dried for no longer than 30 minutes. The efficacy of these extracts diminishes when stored for more than three months. For example, the effectiveness of Andrographis paniculata extract against Crystal Violet decreased by 21.6%, while the Eucalyptus extract showed a 6% reduction against Methylene Blue. The grapefruit peel extract exhibited a 29.2% reduction against Methylene Blue, and the cinnamon extract demonstrated a 36.8% reduction against Safranin. This study indicates that products derived from these four herbal extracts provide an effective and environmentally friendly alternative for removing synthetic chemicals. Given their natural origins and the absence of preservatives, these extracts are safe for use. It is recommended that the extracts be stored for no longer than three months to maintain optimal efficacy. This approach enhances the value of the herbs and promotes the use of natural products in addressing chemical residues in daily life.

Keywords: Removal, Herbal Extracts, Synthetic Chemical Residue

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยเรื่องนี้ ทีมคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำหรับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัย ภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๗ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยนี้ ให้สามารถทำลุล่วงไปได้จนสำเร็จ

ดวงฤทัย นิคมรัฐ
ขวัญใจ นามมล
นิภา ทองพราว
จิรภัคร์ เทพประถม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขต	3
1.4 กรอบแนวคิด	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 นิยามศัพท์	5
1.7 คำสำคัญ	5
1.8 ตารางเวลาในการดำเนินงาน	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สารเคมีสังเคราะห์	7
2.2 สมุนไพร	17
2.3 กระบวนการสกัดสารสมุนไพร	24
2.4 การบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์	26
2.5 การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ 34

3.2 ขั้นตอนการศึกษา 35

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย

4.1 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง 48

4.2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส 58

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร 64

4.4 ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา 74

4.5 พัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ 80

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล 82

5.2 ข้อเสนอแนะ 83

เอกสารอ้างอิง 84

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	6
4.1 ความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	53
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มสีการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว	62
4.3 ประสิทธิภาพของสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์	69
4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา	75

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 กรอบแนวคิด	4
2.1 โครงสร้างของสีเอซิด	9
2.2 โครงสร้างของสีไดเร็กท์	10
2.3 โครงสร้างของสีเบสิค	10
2.4 โครงสร้างของสีดิสเพอร์ส	11
2.5 โครงสร้างของสีรีแอกทีฟ	11
2.6 โครงสร้างของสีอะโซอิค	12
2.7 โครงสร้างของสีแว็ต	12
2.8 โครงสร้างของสีมอร์แดนท์หรือโครม	12
2.9 โครงสร้างของสีอินเกรน	13
2.10 โครงสร้างของสีออกซิเดชัน	13
2.11 โครงสร้างของสีซัลเฟอร์	14
2.12 ตัวอย่างโครงสร้าง Crystal violet	14
2.13 ตัวอย่างโครงสร้าง Methylene blue	15
2.14 ตัวอย่างโครงสร้าง Safranin	15
2.15 ตัวอย่างโครงสร้าง Reactive Brown 18	15
2.16 ต้นรางจืด	18
2.17 ต้นยูคาลิปตัส	20
2.18 เปลือกส้มโอ	21
2.19 อบเชย	23
2.20 ลักษณะของ *Bacillus cereus*	28
2.21 ลักษณะของ *Lactobacillus* spp.	29
2.22 ลักษณะของ *Saccharomyces cerevisiae*	30
2.23 ลักษณะของ *Aspergillus niger*	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพร	37
3.2 การวัดค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดสมุนไพร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer	39
3.3 การวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	40
3.4 ขั้นตอนการลดสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำทิ้ง	40
3.5 ขั้นตอนการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิว	42
3.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์	443
3.7 ตัวอย่างการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว LB (Luria Bertani Broth)	44
3.8 ตัวอย่างการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว PDB (Potato Dextrose Broth)	45
3.9 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลว เพื่อศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร	46
3.10 ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในรูปแบบพร้อมใช้งาน	47
3.11 สารสกัดสมุนไพรเข้มข้น 4 ชนิด	47
4.1 ค่าดูดกลื่นแสงของสารเคมีสังเคราะห์	49
4.2 ความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	51
4.3 ความสามารถของสารสกัดใบรางจืดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	54
4.4 ความสามารถของสารสกัดใบยูคาลิปตัสในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	55
4.5 ความสามารถของสารสกัดเปลือกส้มโอในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	56
4.6 ความสามารถของสารสกัดอบเชยในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง	57
4.7 ผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าใยสังเคราะห์	59
4.8 ผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าฝ้าย	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.9 ลักษณะของสารสกัดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกัน	65
4.10 ลักษณะของสารสกัดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือนจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40X	66
4.11 ความสามารถของสมุนไพรในการลดความเข้มข้นของสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำหลังจากเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน	68
4.12 ประสิทธิภาพของสารสกัดใบรางจืดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ	70
4.13 ประสิทธิภาพของสารสกัดใบยูคาลิปตัสในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ	71
4.14 ประสิทธิภาพของสารสกัดเปลือกส้มโอในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ	72
4.15 ประสิทธิภาพของสารสกัดอบเชยในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ	73
4.16 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการทดสอบความเป็นพิษในสารสกัดสมุนไพรภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X	79
4.17 สารสกัดสมุนไพรเข้มข้นเพื่อใช้ผสมเป็นผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง	80
4.18 ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งานจำนวน 3 สูตร เพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง	81

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเกิดปัญหาการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในสิ่งแวดล้อม มีผลกระทบทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะสั้น และระยะยาวเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานอนามัย, 2537) หนึ่งในปัญหาที่พบมาจากอุตสาหกรรมการย้อมผ้า ที่ในปัจจุบันนิยมใช้สารเคมีสังเคราะห์ในการย้อมสี ด้วยสารเคมีสังเคราะห์มีข้อดีที่สีมีความทนทาน ไม่ซีดจาง ให้เฉดสีหลากหลาย หาซื้อได้ทั่วไป สะดวกต่อการใช้งาน และมีราคาที่ค่อนข้างถูก นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กระดับครัวเรือน ในงานสิ่งทอพื้นบ้าน กระดาษสา ผลิตภัณฑ์ผักตบชวา และผลิตภัณฑ์จักสาน มีการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในการทำสารเคมีสังเคราะห์สำหรับย้อมสี ซึ่งประกอบด้วยคลอโมฟอร์ (Chromophore) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ หมู่เอโซ (Azo group) หมู่ไนโตรโซ (Nitroso group) และหมู่ไนโตร (Nitro group) และสารที่มีหมู่ฟังก์ชันยึดสีให้ติดกับเนื้อผ้า (Auxiliaries) ได้แก่ คาร์บอกซิล (-COOH) อะมิโน ($-NH_2$) ซัลโฟนิก ($-SO_3H$) และไฮดรอกซิล (-OH) นอกจากนี้ยังมีโลหะหนักที่เป็นพิษที่ใช้ในกระบวนการผลิต ที่ไม่มีการกำจัดออกในกระบวนการผลิตสีสารเคมีสังเคราะห์ เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู โครเมียม และแคดเมียม สารเคมีสังเคราะห์สารเคมีสังเคราะห์ดังกล่าวได้ปนเปื้อนมาจากกระบวนการย้อมสี การซักล้าง และน้ำทิ้งจากโรงงาน หากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม จะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ดินและน้ำเสีย และยังสามารถปนเปื้อนบนผิวหนังผู้บริโภค ก่อให้เกิดความระคายเคือง ก่อให้เกิดพิษต่อร่างกายหากเข้าสู่ร่างกาย และสามารถก่อโรคมะเร็ง (วงศ์กนก อยู่สงค์, 2556)

หลักการบำบัดสารเคมีสังเคราะห์จากกระบวนการย้อมสี ส่วนใหญ่เป็นการทำให้สารเคมีสังเคราะห์ตกตะกอน ก่อนนำไปบำบัด คัดแยก กรอง ในขั้นต่อไป การบำบัดด้วยเคมีส่วนใหญ่เลือกใช้สารส้ม ก๊าซโอโซน และการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพเพื่อช่วยลดการปนเปื้อนสีและโลหะหนัก ซึ่งเป็นการบำบัดแบบระยะยาว ใช้เวลานาน ทั้งสองวิธีนี้สามารถลดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในเบื้องต้นเท่านั้น ทำให้ยังมีสารปนเปื้อนตกค้างหลงเหลืออยู่ในน้ำ (จันทิมา ชั่งสิริพร, 2556) ดังนั้นหากนำน้ำที่มีการปนเปื้อนหรือการตกค้างของสารดังกล่าวมาใช้ จะทำให้สารที่หลงเหลือดังกล่าวปนเปื้อน และสะสมในร่างกาย จนเกิดผลเสียต่อร่างกายในระยะยาว จึงมีความจำเป็นต้องบำบัดในขั้นสุดท้าย เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนดังกล่าวที่ยังเหลือตกค้าง ทั้งนี้การกำจัดและการลดความเป็นพิษของสารเคมีสังเคราะห์จะสร้างความปลอดภัยมากที่สุดให้แก่ผู้บริโภคที่ใช้สัมผัสต่อร่างกายโดยตรง

การเลือกใช้พืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งหรือมีความสามารถลดความเป็นพิษของสารเคมีสังเคราะห์ จึงเป็นแนวทางทางชีวภาพแนวทางหนึ่งในการบำบัดขั้นสุดท้ายที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อสุขภาพ โดยมีงานวิจัยศึกษาการใช้พืชสมุนไพรเหล่านี้ ได้แก่ ใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอ และอบเชย ที่มีสรรพคุณยับยั้ง

หรือมีความสามารถลดความเป็นพิษของสารเคมีสังเคราะห์ มาใช้ในการรักษาและบรรเทาอาการจากอาหารเป็นพิษ แพ้ยา แพ้อาหาร พิษจากการสูดดม และสัมผัสสารเคมีทางการเกษตร ลดการเป็นลมพิษ แมลงสัตว์กัดต่อย (จันทพร มณีเสน, 2563) ตัวอย่างงานวิจัย เช่น สารสกัดหยาบจากใบรางจืดในรูปเม็ดบีทที่มีความสามารถในการรีดิวซ์และสลายสีเมทิลีนบลู สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม (ฐิติกร พรหมบรรจง และคณะ, 2562) น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยประกอบด้วยสารประกอบโพลีฟีนอล มีคุณสมบัติสามารถกำจัดโลหะหนัก (Shimna *et al*., 2017) น้ำมันเปลือกส้มโอ มีคุณสมบัติสามารถช่วยสลายหรือลดปริมาณคลอเรสเตอรอล พบว่า ความเข้มข้นของน้ำมันเปลือกส้ม โอร้อยละ 1.5 (v/v) มีความเหมาะสมสำหรับชำระล้างคราบมัน (ชิตินทร บุญสุขจิตเสรี และศุภนิดา หอมพูลทรัพย์, 2541) อีกทั้งสารสกัดยูคาลิปตัสประกอบไปด้วยสารแทนนิน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถดักจับโลหะหนัก (ประกร รามกูล, 2553) เป็นต้น และจากการศึกษาเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการจากทีมผู้วิจัย พบว่าสารสกัดพืชสมุนไพร 4 ชนิด ได้แก่ ใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอ และอบเชย มีความสามารถในการรีดิวซ์สารเคมีชนิด เมทีลินบลู คลิสตอลไวโอเลต และคอปเปอร์ซัลเฟต โดยทำให้เปลี่ยนสี และก่อให้เกิดการตกตะกอน

จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าว จึงทำให้ทีมผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดธรรมชาติจากพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง มาเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์สารสกัดเพื่อการนำไปใช้ลดการปนเปื้อน และสะสมของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส เช่น ผ้า น้ำล้างซักผ้า และน้ำล้างมือ ตัวอย่างสารเคมีสังเคราะห์ที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ สารเคมีสังเคราะห์ย้อมผ้า ได้แก่ C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin โดยชนิดของพืชสมุนไพรที่เลือกใช้ 4 ชนิด ได้แก่ ใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอ และอบเชย ในการศึกษาจะทำการทดสอบความเข้มข้นและสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณของการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ ศึกษาประสิทธิภาพการลดการปนเปื้อนในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส ศึกษาอายุการใช้งานของสารสกัดแต่ละชนิด และสารสกัดผสม ทดสอบความเป็นพิษจากสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดที่อาจก่อเกิดอันตรายต่อผู้บริโภคเบื้องต้น และพัฒนาสูตรสารสกัดสมุนไพรเป็นผลิตภัณฑ์สารสกัดในรูปแบบพร้อมใช้ที่ยังคงประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง งานวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์ของพืชสมุนไพร ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ในการช่วยลดการปนเปื้อนและสะสมสารเคมีสังเคราะห์ อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

1.2.3 ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา

1.2.4 พัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ที่มีประสิทธิภาพในการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

สมุนไพร: ใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอ และอบเชย

1.3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี: C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue, Safranin และ Ethanol ร้อยละ 80 (v/v)

1.3.3 วิธีการสกัด: การสกัดด้วย Ethanol ร้อยละ 80 (v/v) ในรูปแบบสารสกัดเข้มข้น เพื่อลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง และบนพื้นผิวสัมผัส

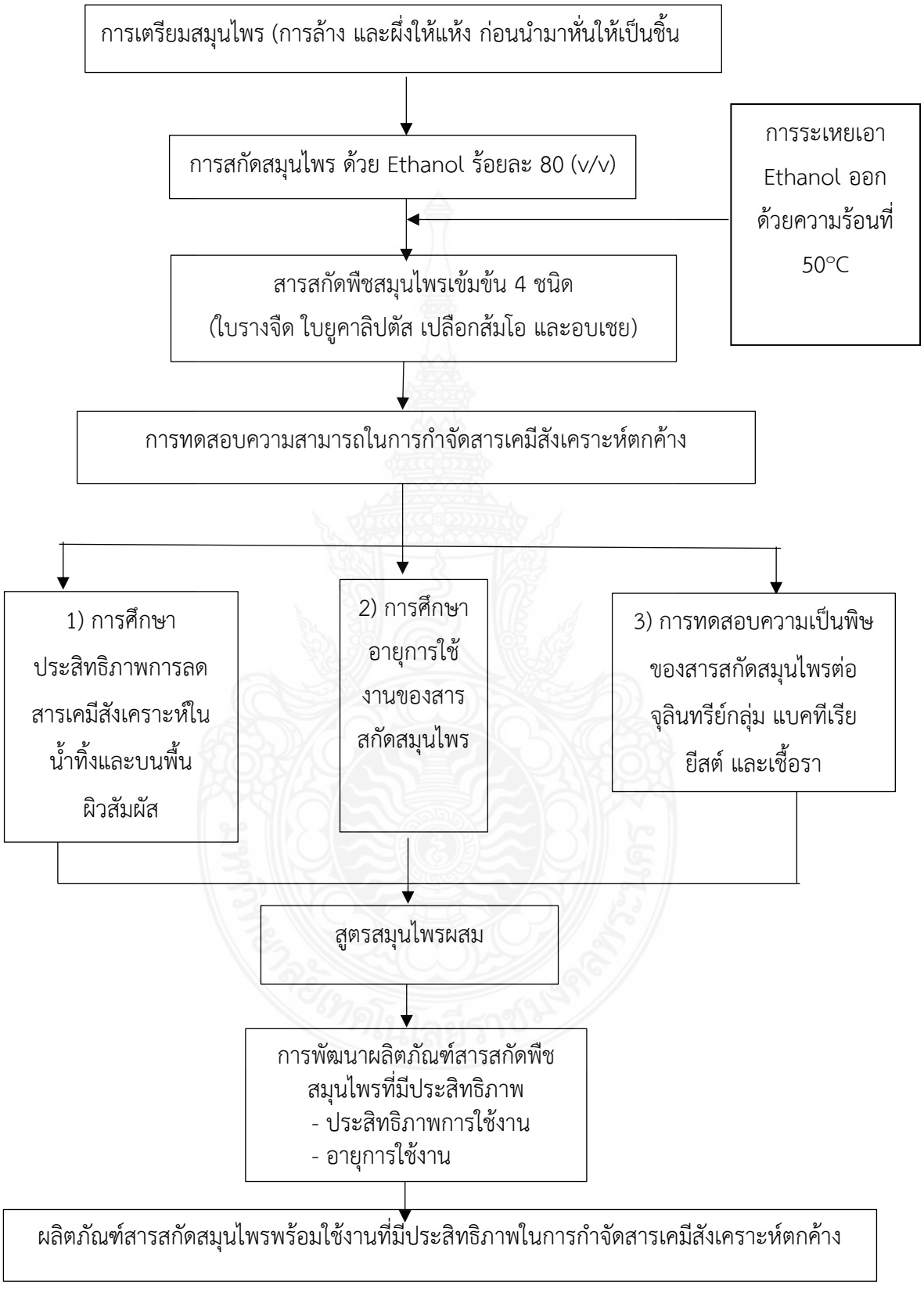
1.3.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

พฤษภาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ 2566

1.3.5 สถานที่ปฏิบัติ

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



ภาพ 1.1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการกำจัดและลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

1.5.2 ทราบถึงอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

1.5.3 ทราบถึงความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร

1.5.4 ได้ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งานที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

1.5.5 ได้ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 สารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง คือ สารที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ที่ใช้ทดแทนสารจากธรรมชาติ ก่อให้เกิดความเป็นพิษ และปนเปื้อนบนวัตถุต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 1 ppm ในการศึกษานี้ใช้ C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Ethanol ร้อยละ 80 (v/v), Methylene Blue และ Safranin

1.6.2 สารสกัดสมุนไพร คือ การนำใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอ และอบเชย มาสกัดในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อกำจัดและลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

1.7 คำสำคัญ

ภาษาไทย : การกำจัด, สารสกัดสมุนไพร, สารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

English : Removal, Herbal Extracts, Synthetic Chemical Residues

1.8 ตารางเวลาในการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 ระยะเวลาดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ 2566

แผนการดำเนินงาน	ปี 2566					
	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
1. ศึกษาข้อมูลและวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
2. ศึกษาประสิทธิภาพการลดสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส						
3. ศึกษาอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร						
4. ทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อกลุ่มจุลินทรีย์ กลุ่ม แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์						
5. พัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพ - ประสิทธิภาพการใช้งาน - อายุการใช้งาน						
6. พัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรพร้อมใช้งานที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง						
7. บันทึกข้อมูลและสรุปผลการทดลอง						
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์						
9. เผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยี						

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่องผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนจากสารเคมีสังเคราะห์ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดหัวข้อดังนี้

2.1 สารเคมีสังเคราะห์

2.2 สมุนไพร

2.3 กระบวนการสกัดสารสมุนไพร

2.4 การบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์

2.5 การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคมีสังเคราะห์

2.1.1 ความหมาย

สารเคมีสังเคราะห์ หมายถึง สารให้สีที่ละลายน้ำหรือบางชนิดที่ละลายน้ำไม่ได้ ในขณะที่ยังไม่ได้ย้อม แต่เมื่อสารเคมีสังเคราะห์และโมเลกุลจะซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยด้วยวิธีการใด ๆ ก็ตาม และสามารถเกาะติดเส้นใยได้ไม่หลุดออกง่าย (ปรีชา มูลสิน, 2562)

2.1.2 ชนิดของสารเคมีสังเคราะห์

1) สารเคมีจากธรรมชาติ

สารเคมีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากแหล่งในธรรมชาติ ได้แก่ พืช สัตว์และแร่ธาตุ สีประเภทนี้เกิดขึ้นมาโดยกระบวนการตามธรรมชาติ ซึ่งเชื่อกันว่าไม่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษใด ๆ เมื่อนำไปใช้ย้อม น้ำทิ้งที่ได้ก็ประกอบด้วยสารธรรมชาติที่สลายตัวได้ง่าย และสารที่เกิดจากการสลายตัวยังมีความเป็นพิษต่ำหรือไม่มีความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อม และสีที่ได้จากธรรมชาติรวมทั้งสารที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของมันยังมีความเป็นพิษต่ำต่อผิวหนังหรือสุขภาพของผู้ใช้งาน ข้อด้อยที่สำคัญของสีธรรมชาติ ได้แก่ ปริมาณของตัวสีในวัสดุให้สีมีน้อย ส่งผลให้ย้อมสีได้ไม่เข้ม เมื่อย้อมสิ่งทอไปแล้วสีซีดง่าย โดยเฉพาะเมื่อโดนแสงการย้อมกลับมาให้เป็นสีเดิมทำได้ยาก และในกรณีที่แหล่งตามธรรมชาติที่ให้สีหมดไป ทำให้ขาดแคลนวัสดุให้สีส่วนใหญ่แหล่งของสีจากธรรมชาติที่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือ พืช ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ให้สีได้แก่ เปลือกราก ลำต้น เปลือกต้น แก่นไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด สีจากสัตว์เป็นสีที่ได้จากแมลง เช่น ครั่ง ซึ่งพบมากในประเทศไทยนั้น เป็นสีในกลุ่มที่ให้สีแดง ขับออกมาจากตัวแมลง *Laccifer lacca* kerr. นิยมใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ และใช้เป็นสีผสมอาหาร สีจากจุลินทรีย์ พบมากในรา ยีสต์ และแบคทีเรีย ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สีย้อมธรรมชาติที่ได้จากพืชและสัตว์ได้ถูกบันทึกไว้ในเอกสารต่าง ๆ รวมทั้งถ่ายทอดสืบมาจนถึงปัจจุบัน เช่น บันทึก

ของพิพิธภัณฑ์แห่งชาติเกี่ยวกับสีที่ใช้ย้อมผ้า นอกจากการใช้พืชชนิดเดียวมาสกัดเอาสีย้อมแล้ว ยังมีการนำพืชหลายชนิดมาผสมกัน เพื่อให้เกิดเฉดสีเพิ่มขึ้น เช่น แก่นแกแลกับต้นครามให้สีเขียว ใบแคสดกับขมิ้นผงให้สีตองอ่อน ผลหมากสุกกับแก่นแกแล ให้สีกากีแกมเหลือง ใบส้มป่อยกับขมิ้นให้สีเขียว เป็นต้น รงควัตถุหรือสารสีที่ได้จากสิ่งมีชีวิตนั้นจะพบอยู่ในเซลล์หรือภายนอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิต รงควัตถุที่พบในพืชโดยทั่วไปจะเป็นสารในกลุ่มเบต้าลินิน เมลานิน แอนทราควิโนน และแนพทราควิโนน รงควัตถุที่พบได้ในพืชบางสกุล เช่น คาโรตินอยด์ แซนโธฟิลล์ และฟลาโวนอยด์ ส่วนแอนทราควิโนนเป็นสารสีที่พืชจะสังเคราะห์ในบางสภาวะเท่านั้น เช่น ในผลไม้สุก เป็นต้น (สุพรรณี บุญเรือง, 2549)

2) สารเคมีสังเคราะห์หรือสีเคมี

สารเคมีสังเคราะห์หรือสารเคมีเป็นสารที่ได้จากการที่นักวิทยาศาสตร์นำเอาสารเคมีต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยากันหรือเกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้สีเคมีหรือสีสังเคราะห์เป็นสีที่มีเนื้อสีอยู่ในปริมาณที่เข้มข้นทำให้ได้สีที่เข้ม เมื่อนำไปใช้ย้อมสามารถใช้ในปริมาณที่น้อย ๆ ทำให้สะดวกในการใช้งาน การใช้สีสังเคราะห์อาจมีสารเคมีที่ป้องกันการตกสีผสมอยู่ด้วย การใช้สีสังเคราะห์มีผลเสียหลายประการ เช่น ทำให้เกิดมลพิษในกระบวนการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดจากการย้อมสีเคมี ทำให้ดินและน้ำเสียส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สีสังเคราะห์หลายชนิดเมื่อสลายตัวมีอันตรายต่อผิวหนัง สีสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นสีที่ต้องนำเข้าเพราะไม่มีการผลิตภายในประเทศ สีสังเคราะห์มีหลายเฉดสี มีราคาแตกต่างกันตามคุณภาพของสี ปัจจุบันพบว่าสีสังเคราะห์บางชนิดเป็นอันตรายต่อทั้งผู้ย้อมและผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีการห้ามใช้และในบางประเทศแถบยุโรป มีกฎหมายเกี่ยวกับการนำผลิตภัณฑ์บางชนิดหรือทุกชนิดที่ย้อมสีดังกล่าวเข้าประเทศ (บิณฑสันต์ ขวัญข้าว, 2549)

2.1.3 ประเภทของสารเคมีสังเคราะห์

1) ประเภทของสารเคมีจากธรรมชาติ

1.1) สารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติจากแร่ธาตุ (Mineral dyes)

สารเคมีธรรมชาติประเภทนี้เป็นสีที่เกิดจากสารประกอบของโลหะจำพวกเหล็ก โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดง โคบอลต์ และนิกเกิล ในอดีตเป็นกลุ่มสีที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันไม่ปรากฏแหล่งผลิต สีจากโคลนและดินแดง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสารประกอบพวกอะลูมิโนซิลิเกต และสารประกอบโลหะ สำหรับประเทศไทยมีการใช้สีธรรมชาติจากแร่ธาตุในการย้อมสีสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

1.2) สารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติจากสัตว์ (Animal dyes)

สารเคมีธรรมชาติจากสัตว์ คือ สารสีที่ได้จากสารที่ขับออกจากสัตว์ หรือตัวสัตว์ สำหรับประเทศไทยมีการใช้สีจากแมลง คือ ครั่ง โดยตัวครั่งจะดูดกินน้ำเลี้ยงของต้นไม้แล้วขับสารสีแดงเรียกว่า ยางครั่ง ออกมาหุ้มรอบตัวเป็นรัง สารสีแดงที่ถูกขับออกมาจากตัวครั่งถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ทั้งในการย้อมสิ่งทอ ผสมในอาหาร และใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท สำหรับเส้นใยที่ย้อมด้วยครั่งคือ ไหม ขนสัตว์ และฝ้าย ซึ่งคุณภาพของสีที่ได้จากการย้อมด้วยครั่งจะขึ้นกับชนิดของต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่ง

1.3) สารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติจากพืช (Vegetable dyes)

สารเคมีที่ได้จากพืชจัดเป็นกลุ่มสารสีหลักของสารเคมีธรรมชาติ โดยเป็นการย้อมที่ได้จากทุกส่วนของพืชทั้ง ราก เปลือก ลำต้น เนื้อไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด สารเคมีสังเคราะห์กลุ่มนี้มีความหลากหลาย สามารถแบ่งโดยใช้กรรมวิธีการย้อมเป็นเกณฑ์ได้ 2 กลุ่ม คือ

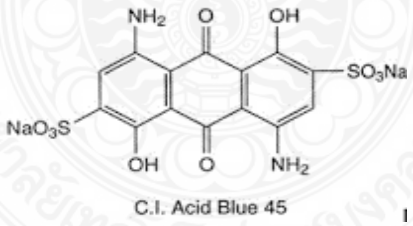
(1) การย้อมแบบเย็น หรือการย้อมแบบหมัก เป็นการย้อมที่ได้จากพืช เช่น ผลมะเกลือ ห้อม และคราม เป็นการย้อมสีจากพืชที่มีกรรมวิธีการย้อมโดยไม่ใช้ความร้อน แต่อาศัยคุณสมบัติธรรมชาติของสารสีจากพืช และปฏิกิริยาเคมีทางธรรมชาติช่วยให้สารสีติดกับเส้นใย โดยจะหมักเส้นใยไว้ในน้ำย้อมที่อุณหภูมิปกติ โดยพืชแต่ละชนิดจะมีรายละเอียดวิธีการย้อมที่แตกต่างกันตามชนิดของสารสีที่ได้จากพืช

(2) การย้อมแบบร้อน เป็นการย้อมธรรมชาติที่ใช้การย้อมแบบร้อน จะเป็นการย้อมที่ได้จากพืชทั่วไปและครั่ง โดยจะนำวัตถุดิบย้อมสีมาสับให้ละเอียดแล้วต้มให้เดือด เพื่อสกัดสารสีออกจากพืช จากนั้นจึงทำการย้อมกับเส้นใยจะมีการใช้ความร้อนและสารช่วยย้อมช่วยให้สารสีติดกับเส้น (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6, 2553)

2) ประเภทของสารเคมีสังเคราะห์

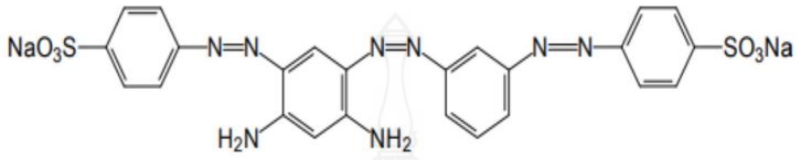
การจำแนกสีสังเคราะห์ สามารถจำแนกออกเป็น 11 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.1) สีเอซิด (Acid dye) เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ใยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสารเคมีสังเคราะห์ที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ (ขนิษฐา ศรีนวล, 2550) (ภาพ 2.1)



ภาพ 2.1 โครงสร้างของสีเอซิด (Acid dye)
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

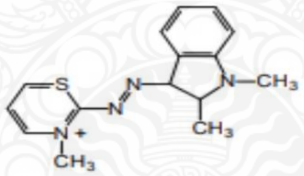
2.2) สีไดเร็กท์ (Direct dye) หรือสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง (ภาพ 2.2)



C.I. Direct Brown 44

ภาพ 2.2 โครงสร้างของสีไดเร็กท์ (Direct dye)
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

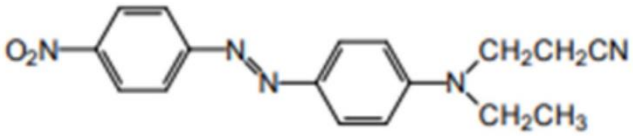
2.3) สีเบสิก (Basic or Cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติ เพราะจะไม่ทนการซักและแสง (ภาพ 2.3)



C.I. Basic Red 29

ภาพ 2.3 โครงสร้างของสีเบสิก
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

2.4) สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูงสีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดีแต่สีจะซีดถ้าถูกควันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์ส แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณากลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมแอมมิโนแอนทราควิโนน (Aminoantraquinone) 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทราโนลามี (Ethanolamine; $NH_2CH_2CH_2CH$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน (ภาพ 2.4)

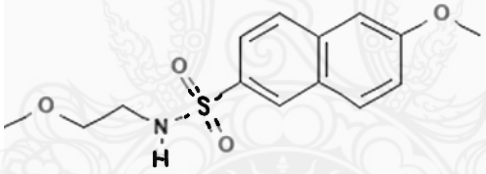


C.I. Disperse Orange 25

ภาพ 2.4 โครงสร้างของสีดิสเพอร์ส (Disperse dye)

ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

2.5) สีรีแอกทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมผ้าชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH–) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนท์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75ºC และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิปกติ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ (ภาพ 2.5)

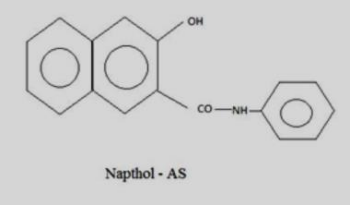


C.I. Reactive brown 18

ภาพ 2.5 โครงสร้างของสีรีแอกทีฟ (Reactive dye)

ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

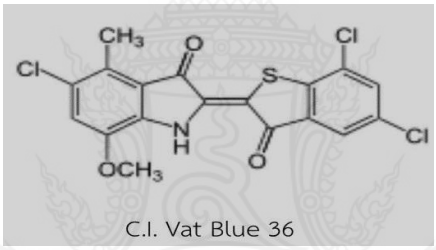
2.6) สีอะโซอิค (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้ เป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพแนนท์ (Diasocomponents) จึงจะเกิดเป็นสี คือ สีอะโซอิคที่ใช้สำหรับย้อมเส้นใยอาทิ เซลลูโลส ไนลอน อะซิเตท สีอะโซอิค เป็นสีที่ทนต่อการซักแต่ไม่ทนต่อการขัดถู (ภาพ 2.6)



ภาพ 2.6 โครงสร้างของสีอะโซอิค (Azoic dye)

ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

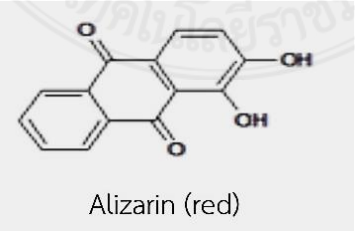
2.7) สีแว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศ สีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigo) และสีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid) (ภาพ 2.7)



ภาพ 2.7 โครงสร้างของสีแว็ต (Vat dye)

ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

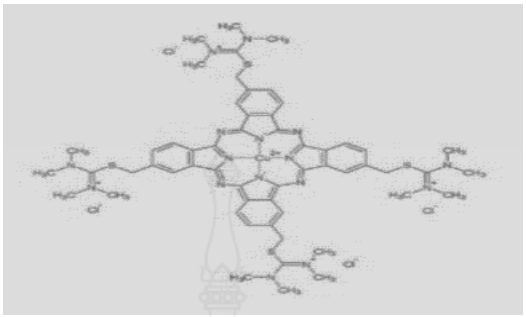
2.8) สีมอร์แดนท์ หรือโครม (Mordant or chrome dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือสารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดนท์เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนท์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลีเอไมด์ได้ดี (ภาพ 2.8)



ภาพ 2.8 โครงสร้างของสีมอร์แดนท์หรือโครม
(Mordant or chrome dye)

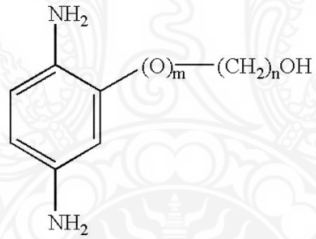
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

2.9) สีอินเกรน (Ingrain dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมฝ้าย (ภาพ 2.9)



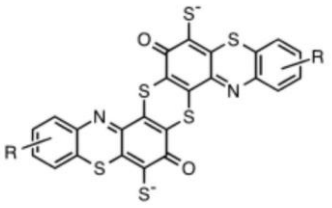
ภาพ 2.9 โครงสร้างของสีอินเกรน (Ingrain dye)
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

2.10) สีออกซิเดชัน (Oxidation dye) เป็นสีที่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์ หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ สีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมฝ้ายและขนสัตว์ (ภาพ 2.10)



ภาพ 2.10 โครงสร้างของสีออกซิเดชัน (Oxdation dye)
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

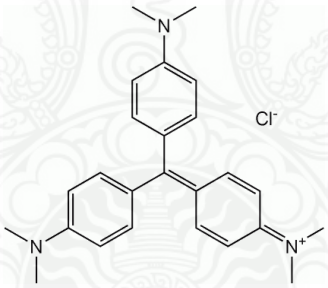
2.11) สีซัลเฟอร์ (Sulfer dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูกแต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก (ภาพ 2.11)



ภาพ 2.11 โครงสร้างของสีซัลเฟอร์ (Sulfer dye)
ที่มา : อรุณี คงดี อัลเดรด, (2558).

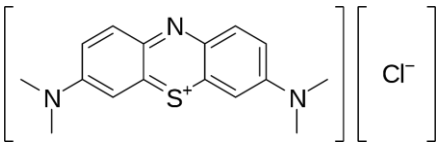
2.1.4 สารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย

1) Crystal violet คือ สีที่อยู่ในรูปผงหรือผลึกสีเขียวเข้ม เป็นสีที่ได้จากสาร Gentian violet สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายทางด้วยกัน เช่น ใช้ในการย้อมสีแบบแกรม (Gram's staining) การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นสีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้รับสาร เช่น มะเร็ง ก่อเกิดการระคายเคืองผิวหนังและเยื่อบุนัยน์ตา ระบบหายใจ และระบบย่อยอาหาร (ภาพ 2.12)



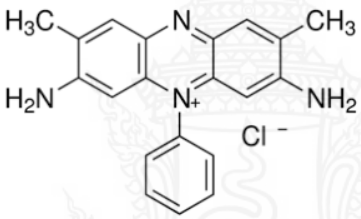
ภาพ 2.12 ตัวอย่างโครงสร้าง Crystal violet
ที่มา : ปรวรรณ คารวะวิชัย, (2557).

2) Methylene blue คือ เป็นสารประกอบเคมีสีเขียวเข้มที่เมื่อละลายน้ำจะกลายเป็นสีฟ้า ใช้รักษาภาวะเมทฮีโมโกลบินีเมีย (Methemoglobinemia) ในกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะขาดออกซิเจนหรือมีระดับเมทฮีโมโกลบินเกินร้อยละ 25-30 ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ และอาจทำให้ผิวเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ อ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นแรง หอบ และหายใจเร็ว หรือหากมีระดับเมทฮีโมโกลบินสูงมาก ผู้ป่วยอาจถึงแก่ชีวิตได้ (ภาพ 2.13)



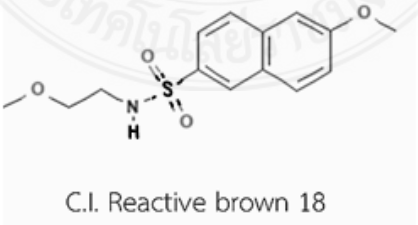
ภาพ 2.13 ตัวอย่างโครงสร้าง Methylene blue
ที่มา : ณัฐวัชร์ ถาวรวงษ์ และจิรเวทย์ มากมี, (2559).

3) Safranin คือ เป็นสีย้อมทางชีวภาพที่นิยมใช้ในการศึกษาด้านเนื้อเยื่อวิทยาและโครงสร้างของเซลล์วิทยา Safranin ใช้เป็นสีย้อมให้สีแดงในนิวเคลียสของเซลล์ ทำหน้าที่ติดสีแดงในการย้อมแกรมและการย้อม Endospore นอกจากนี้ยังสามารถใช้สำหรับการตรวจหากระดูกอ่อน Mucin และเม็ดโลหิต (ภาพ 2.14)



ภาพ 2.14 ตัวอย่างโครงสร้าง Safranin
ที่มา : Loba chemie, (2008).

4) Reactive Brown 18 คือ เป็นผงสีน้ำตาลและเป็นสีย้อมผ้าเพียงชนิดเดียวที่มีแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของวัสดุย้อมอย่างถาวร การทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่อื่นที่ถูกไอออไนซ์ของโมเลกุลเซลลูโลสในสารละลายเบสกับหมู่ไตรเอซิลหรือไวนิลซัลโฟน (ภาพ 2.15)



ภาพ 2.15 ตัวอย่างโครงสร้าง Reactive Brown 18
ที่มา : Benchchem, (2564).

2.1.5 ประโยชน์และโทษของสารเคมีสังเคราะห์

1) ข้อดี/ข้อเสียสารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติ

1.1) ข้อดีของสารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติ

ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ผลิตและผู้บริโภค น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม วัตถุดิบหาง่าย สีย้อมธรรมชาติให้การดูดซับรังสียูวีได้ดี การสวมใส่เสื้อผ้าย้อมสีธรรมชาติสามารถปกป้องผิวจากรังสีที่เป็นอันตรายของดวงอาทิตย์ (เครื่องสำอางธรรมชาติ, 2562)

1.2) ข้อเสียของสารเคมีสังเคราะห์ธรรมชาติ

ปริมาณของตัวสีในวัสดุให้สีมีน้อยส่งผลให้ย้อมสีได้ไม่เข้ม เมื่อย้อมสิ่งทอไปแล้วสีซีดง่ายเมื่อโดนแสง การย้อมกลับมาให้เป็นสีเดิมทำได้ยาก และในกรณีที่แหล่งตามธรรมชาติที่ให้สีหมดไป ทำให้ขาดแคลนวัสดุให้สี ความเป็นพิษต่ำต่อผิวหนังหรือสุขภาพของผู้ใช้งาน สีชนิดนี้เกิดขึ้นมาโดยกระบวนการตามธรรมชาติ ซึ่งเชื่อกันว่าไม่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษใดๆ เมื่อนำไปใช้ย้อม น้ำทิ้งที่ได้ก็ประกอบด้วยสารธรรมชาติที่สลายตัวได้ง่าย และสารที่เกิดจากการสลายตัวยังมีความเป็นพิษต่ำหรือไม่มีความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อม (รัตนะ อุทัยผล, 2523)

2) ข้อดี/ข้อเสียของสารเคมีสังเคราะห์

2.1) ข้อดีของสารเคมีสังเคราะห์

สีสังเคราะห์มีราคาถูกกว่า ให้สีสดและสม่ำเสมอกว่าและให้สีในช่วงที่กว้างกว่า นอกจากนี้ยังมีขายทั้งในรูปแม่สี และสีผสมในรูปผง สารละลาย และสารละลายแขวนลอย ซึ่งสะดวกต่อการเลือกใช้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์และ นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

2.2) ข้อเสียของสารเคมีสังเคราะห์

อันตรายส่วนใหญ่เกิดจากสีสังเคราะห์ทางเคมีซึ่งผู้ผลิตบางคนมักใช้สีย้อมผ้าหรือสีย้อมกระดาษ ซึ่งมีโลหะหนัก ได้แก่

ตะกั่ว (Pb) : ระยะแรก ทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้าสะสมมากขึ้นจะมีอัมพาตที่แขน ขา เพ้อ ชักกระตุก หมดสติ

ปรอท (Hg) : กรณีเฉียบพลัน จะมีอาการคลื่นไส้ท้องเดิน ปวดมวนท้องรุนแรง ถ้าสะสมเรื้อรัง เหงือกจะบวม แดงคล้ำ เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย

สารหนู (As) : เกิดพิษต่อระบบทางเดินอาหารทำให้ตับผิดปกติอักเสบ หัวใจวาย

โครเมียม (Cr) : หากสะสมในร่างกายเกินขนาดจะเกิดอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำรุนแรง อาเจียน หมดสติ ปัสสาวะเป็นพิษ และเสียชีวิตเนื่องจากไตไม่ทำงาน

แคดเมียม (Cd) : จะทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อ ปวดท้อง และปอด โดยไตและตับจะถูกทำลาย ถ้าหากหายใจควันเข้าไปในปอด ทำให้มีอาการเจ็บคอ หายใจสั่น มีเสมหะเป็นเลือด น้ำหนักลด โลหิตจาง อาจทำให้ไตวาย (ชาลิกา เคนดี, 2554)

2.2 สมุนไพร

2.2.1 ความหมายของสมุนไพร

สมุนไพร หมายถึง ยาที่ได้จากพฤกษาชาติสัตว์หรือแร่ธาตุ ซึ่งยังไม่ได้ผสมปรุงหรือแปรสภาพ เช่น พืชก็ยังเป็นส่วนของราก ลำต้น ใบดอก ผล ฯลฯ ซึ่งยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการแปรรูปใดๆ แต่ในทางการค้าสมุนไพรมักจะถูกดัดแปลงในรูปแบบต่างๆ เช่น ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็กลง บดเป็นผงละเอียด หรืออัดเป็นแท่ง แต่ในความรู้สึกของคนทั่วไป เมื่อกล่าวถึงสมุนไพร มักนึกถึงเฉพาะต้นไม้ที่นำมาใช้เป็นยารักษาเท่านั้น เช่น รางจืด ฟ้าทะลายโจร อบเชย เป็นต้น (พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน, 2525)

พืชสมุนไพร หมายถึง พืชทุกชนิดรอบตัวเราสามารถใช้ประโยชน์เป็นทั้งยาบำรุง และยารักษาโรค (โชคอนันต์และ กลุ่มสมุนไพรแผนไทย, 2551)

2.2.2 ประเภทของสมุนไพร

ประเภทของสมุนไพร คือ ยาที่ได้มาจากพืช สัตว์ แร่ธาตุจากธรรมชาติที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพโครงสร้างภายใน สามารถนำมาใช้เป็นยารักษาโรคต่างๆ และบำรุงร่างกายได้ ประเภทของสมุนไพร สมุนไพรที่ได้จากส่วนของพืชโดยตรง (พืชวัตถุ) โดยส่วนต่าง ๆ ที่นำมานั้นมีสารที่สามารถใช้เป็นยาได้ ได้แก่ ใบ ดอก ผล เปลือกผล เมล็ด เปลือกเมล็ด รากหรือหัว ต้น แก่น กระพี้ เนื้อไม้ เปลือกไม้ สมุนไพรที่ได้จากอวัยวะของสัตว์ (สัตว์วัตถุ) ได้แก่ ตับ ดี นอ เขา เอ็น เลือด น้ำมัน มูล ฯลฯ เช่น ขี้ผึ้ง รังนก น้ำมันตับปลา สมุนไพรที่ได้จากแร่โดยธรรมชาติหรือสิ่งที่ประกอบขึ้นจากแร่ธาตุต่างๆ ตามกรรมวิธี (ธาตุวัตถุ) นำมาใช้เป็นยา เช่น เกลือ กำมะถัน น้ำประสานทอง ดีเกลือ สารส้ม (คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี, 2558)

2.2.3 สมุนไพรมีฤทธิ์ในการขจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

1) รางจืด

ภาพ 2.16 ต้นรางจืด

ชื่อ : รางจืด

ได้จาก : ใบ ราก เถา (ภาพ 2.16)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Thunbergia laurifolia* Lindl.

ชื่อสามัญ : Laurel clockvine, Blue trumphet vine

ชื่อวงศ์ Acanthaceae

ชื่ออื่น : ยาเขียว, เครือเขาเขียว, กำลังช้างเผือก, หนามแน่ (เหนือ), ย่ำแย้ (อุตรดิตถ์), น้ำนองคาย (ยะลา), ดุเหว่า (ปัตตานี), รางเย็น, ทิดพุด, แอดแอ, รางจืดเถา

ลักษณะของภายนอก : เถาที่มีอายุมากจะมีเนื้อแข็งขนาดกลาง เถามีเนื้อไม้ เถาอ่อนสีเขียวกลม เป็นข้อปล้อง เถาแก่สีน้ำตาล ใบรูปไข่ปลายเรียวแหลม ปลายใบแหลม หรือแหลมยาว โคนใบกลม ตัดรูปหัวใจหรือคล้ายลูกศร ขอบใบเรียบ จักซี่ฟันตื้น ๆ ห่าง ๆ แผ่นใบเกลี้ยง เส้นโคนใบส่วนมากมี 5 เส้น เส้นแขนงใบย่อยแบบร่างแหเห็นชัดเจน ใบยาว 4-18 cm หลังใบผิวเรียบมัน สีเขียวเข้ม ท้องใบเรียบสีอ่อนกว่า เนื้อใบบาง ใบ ราก และเถา รสจืดเย็น

ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดี : ใบ ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 9 w/w ปริมาณสิ่งแปลกปลอมไม่เกินร้อยละ 2 w/w ปริมาณเถ้ารวมไม่เกินร้อยละ 23 w/w ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกินร้อยละ 11 w/w ปริมาณสารสกัดเอทานอล ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 w/w สารสกัดน้ำ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 14 w/w

สรรพคุณ : ตำรายาไทย: ใบ ราก และเถา รสจืดเย็น ตำคั้น หรือเอารากฝนกับน้ำ หรือต้มเอาน้ำยาดื่มถอนพิษ แก้ไข้ ถอนพิษยาเบื่อเมา แก้ร้อนในกระหายน้ำ แก้ประจำเดือนไม่ปกติ แก้ปวดหู ตำพอก แก้ปวดบวม เถาและใบ รับประทานแก้ร้อนในกระหายน้ำ แก้พิษร้อนต่างๆ ราก รสจืดเย็น แก้อักเสบ แก้ปวด

บวม แก้เมาค้าง แก้อาการปวดหัวมึนหัวอันเนื่องมาจากพิษสุรา ถอนพิษสุรา พิษตกค้างในร่างกาย ใช้รากเข้ายารักษาโรคอักเสบ และปอดบวม รากและเถาใช้กินเป็นยารักษาอาการร้อนในกระหายน้ำรักษาพิษ รสจืดเย็น ถอนพิษยาเบื่อเมา หรือใช้ปรุงเป็นยาเขียว ถอนพิษไข้ ถอนพิษผิดสำแดง พิษเบื่อเมาเนื่องจากเห็ดพิษ สารหนู หรือยาฆ่าแมลง และพิษทั้งปวง รักษาหอบหืดเรื้อรังแก้ผื่นคันจากอาการแพ้ต่าง ๆ ปรุงยาแก้มะเร็ง หมอยาแผนไทยใช้เพื่อช่วยจับสารพิษในตับหรือล้างพิษในตับ

สมุนไพรพื้นบ้านล้านนา: ใช้ ใบและราก ปรุงเป็นยาถอนพิษไข้ เป็นยาพอกบาดแผล น้ำร้อนลวกไฟไหม้ ทำลายพิษยาฆ่าแมลง พิษจากสตริกนินให้เป็นกลาง พิษจากดื่มเหล้ามากเกินไป หรือยาเบื่อชนิดต่างๆ (ระบุว่ารากรางจืดมีตัวยามากกว่าใบ 4-7 เท่า)

ตำรายาพื้นบ้านนครราชสีมา : ใช้ ใบ แก้โรคเบาหวาน โดยใช้ใบประมาณ 5-8 ใบ มาโขลกให้ละเอียดผสมกับน้ำซาวข้าวรับประทานครั้งละ 1 แก้ว วันละ 3 เวลา

ประเทศมาเลเซีย: ใช้ใบแก้ประจำเดือนผิดปกติ แก้ปวดบวม

องค์ประกอบทางเคมี : Flavonoids, Phenolic, Apigenin, Cosmosin, Delphinidin-3,5-di-O-beta-D-glucoside, Chlorogenic Acid, Caffeic Acid And Lutein

การศึกษาทางเภสัชวิทยา: ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อไวรัสเริม ต้านการอักเสบ ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดความดันโลหิต ปกป้องตับ ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้สารฆ่าแมลงในร่างกายลดลง ลดพิษของสารฆ่าแมลงออกาโนฟอสเฟต พาราควอท และพาราไธออนในหนู ป้องกันการเสื่อมของระบบประสาทจากพิษตะกั่ว สารสกัดน้ำ เอทานอล และอะซิโทน มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ โดยยับยั้งการเกิดมะเร็ง เนื่องจากสาร 2-aminoantracene ได้ร้อยละ 87 เมื่อวิเคราะห์ด้วยแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* TA 98 และสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ควิโนนรีดักเทส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดเซลล์มะเร็งระยะเริ่มต้น ได้ตั้งแต่ 1.35 - 2.8 เท่า

การศึกษาทางคลินิก : ลดสารเคมีตกค้างในกระแสเลือดเกษตรกร รักษาผู้ป่วยพิษแมงดาทะเล รายงานผู้ป่วย 4 ราย กินยำไข่แมงดาทะเล อาการขึ้นกับปริมาณที่ได้รับ ทุกรายมีอาการชารอบปาก และคลื่นไส้อาเจียน อาการชาจะลามไปกล้ามเนื้อมัดต่างๆ ที่เป็นอันตรายคือทำให้หายใจไม่ได้ ผู้ป่วย 2 ราย หมดสติ ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ ระยะที่เริ่มแสดงอาการตั้งแต่ 40 นาที จนถึง 4 ชั่วโมง หลังรับประทาน เนื่องจากพิษของแมงดาทะเล คือเทโทรโดทอกซินไม่มียาแก้พิษต้องรักษาตามอาการ หลังจากได้น้ำสมุนไพรรางจืด 50 mL ทางหลอดสวนจมูกถึงกระเพาะอาหาร ผู้ป่วยเริ่มรู้สึกตัว และอาการดีขึ้นตามลำดับ ภายหลังจากได้รับน้ำสมุนไพร 40 นาที ผู้ป่วยอีกรายได้รับการกรอกน้ำรางจืดเช่นกัน ในขนาด 50 mL ทุก 1 ชั่วโมง 5 ครั้ง ภายหลังจากได้รับน้ำสมุนไพร 5 ชั่วโมง ผู้ป่วยเริ่มรู้สึกตัว และอาการดีขึ้นตามลำดับ

การศึกษาทางพิษวิทยา : การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันที่ป้อนหนูทดลองครั้งเดียวทั้งขนาดปกติและขนาดสูง ไม่พบความผิดปกติใด ๆ และป้อนติดต่อกัน 28 วัน ขนาด 500 mL ต่อน้ำหนักตัว 1 kg ไม่พบอาการผิดปกติเช่นกัน แต่อาจทำให้น้ำหนัก ตับ ไต สูงกว่ากลุ่มควบคุม ค่าชีวเคมีที่เกี่ยวกับไต

สูงขึ้น และ AST สูงขึ้นการศึกษาพิษเรื้อรังของสารสกัดน้ำจากใบ โดยป้อนหนูแรทขนาด 20, 200, 1,000, 2,000 mg/kg/d หรือคิดเป็น 1, 10, 50 และ 100 เท่า ของขนาดที่ใช้ในคนเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว การกินอาหาร พฤติกรรม และสุขภาพทั่วไปของหนู อวัยวะภายในทั้งระดับมหพยาธิวิทยาและจุลพยาธิยังคงปกติ และไม่ทำให้เกิดพิษสะสม ไม่ทำให้หนูตาย (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553)

2) ยูคาลิปตัส

ภาพ 2.17 ต้นยูคาลิปตัส

ชื่อ : ยูคาลิปตัส
ได้จาก : ใบ (ภาพ 2.17)
ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Eucalyptus globulus* Labill.
ชื่อสามัญ : Eucalyptus
ชื่อวงศ์ : Myrtaceae
ชื่ออื่น : โกฐจุฬารส, น้ำมันเขียว, มันเขียว
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ : ไม้ยืนต้น สูงประมาณ 10-25 m เรือนยอดเป็นพุ่มหนาทึบค่อนข้างกลม ลำต้นตรง เปลือก เปลือกหุ้มลำต้น มีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับสีขาวและน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้นเมื่อแห้งจะลอกออกได้ง่ายในขณะสด ใบเป็นใบเดี่ยว (Simple leaf) เรียงสลับ เป็นรูปหอกยาว 8-31 cm กว้าง 2 cm ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนหม่นๆ ทั้งสองด้าน ใบห้อยลง เส้นใบมองเห็นได้ชัด ดอก ดอกออกเป็นช่อ ตามข้อต่อระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาว มีก้านย่อยแยกไปอีก ออกดอกเกือบตลอดปี ผล ผลมีลักษณะครึ่งวงกลมหรือรูปถ้วย ผิวนอกแข็ง เมื่ออ่อนจะมีสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ เมื่อผลแก่ปลายผลจะแยกออก

สรรพคุณ : เป็นยาแก้ไอ ขับเสมหะ บรรเทาอาการข้ออักเสบ ไล่ หรือ ฆ่ายุง แมลงวิธีและปริมาณที่ใช้ เป็นยาแก้ไอ ขับเสมหะ ใช้น้ำมันที่กลั่นได้จากใบสด 0.5 ml (8 หยด) รับประทาน หรือทำยาอม ไล่หรือฆ่ายุง แมลง ใช้ใบสด 1 กำมือขยี้ กลิ่นน้ำมันจะออกมาช่วยไล่ยุงและแมลง

ข้อควรระวัง : อย่าใช้เกินขนาด จะระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร เมื่อใช้เป็นยาภายใน (สำนักงานอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2536)

3) เปลือกส้มโอ

ภาพ 2.18 เปลือกส้มโอ

ชื่อ : ส้มโอ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Citrus grandis* (L.) Osbeck

ชื่อวงศ์ : Rutaceae

ชื่ออื่น : โกรัยตะลอง, มะขุน, มะโอ, ส้มมะโอ, ลีมาบาลี, สังอู

ได้จาก : เปลือกผล (ภาพ 2.18)

ลักษณะภายนอก : ผลรูปทรงกลมหรือรูปแพร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 11-17 cm บริเวณขั้วผลนูนเป็นกระจุก ผลอ่อนมีสีเขียวพอแก่มีสีเขียวอมเหลือง เปลือกผลหนา 1-2 cm ผิวผลเรียบ มีต่อมน้ำมันมาก ข้างในมีเยื่อสีขาวหรือสีชมพู ลักษณะหยุ่นนุ่มรสหวานหรือขมเล็กน้อย กั้นเนื้อผลที่เป็นถุงน้ำเปลือกผล มีรสขมเฝื่อนปร่า หอมร้อน

ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดี : ปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 11 v/w, ปริมาณเถ้ารวม ไม่เกินร้อยละ 5 v/w, ปริมาณสาร Naringin ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.5 v/w

สรรพคุณ : เปลือกผล มีรสปร่าหอม แก้ลมวิงเวียน หน้ามืด ตาลาย ใจสั่น ช่วยขับลม ขับเสมหะ แก้อืดอัด แก้จุกแน่นหน้าอก แก้ไอ แก้ปวดท้องน้อยและไส้เลื่อน แก้ลมป่วง แก้จุกเสียดแน่นเฟ้อ แก้อาเจียน ตำพอกฝี ปรุงยาหอมแก้ลมวิงเวียน หน้ามืด ตาลาย ใจสั่น แก้ลม ท้องขึ้นอืดเฟ้อ ต้มน้ำอาบแก้คัน รักษาโรคผิวหนังจำพวกลมพิษ

ประเทศจีน: ใช้เป็นยาแก้ธาตุไม่ปกติ และแก้ไอ ผสมในยาหอมกินแล้วทำให้ชื่นใจ

ตำรายาไทย: ผิวส้มโอ จัดอยู่ใน เปลือกส้ม 8 ประการ ประกอบด้วย ผิวส้มโอ ผิวส้มเขียวหวาน ผิวส้มจีน ผิวส้มซ่า ผิวส้มตรังกานู ผิวมะงั่ว ผิวมะนาว หรือผิวส้มโอมือ และผิวมะกรูดมีสรรพคุณแก้ลมกองละเอียด กองหยาบ แก้เสมหะโลหะ ใช้ปรุงยาหอม แก้ทางลม

รูปแบบและขนาดวิธีใช้ยา : ใช้รักษาโรคลมพิษที่ผิวหนัง ใช้เปลือกผลครั้งละ 0.5-1 ผล หั่นเป็นชิ้นๆ ต้มกับน้ำอาบ หรือทาบ่อย ๆ บริเวณที่เป็น

องค์ประกอบทางเคมี : Acridone, Acronycine, Anthranilate, Apigenin, Bergamottin, Camphor, Citral, Hesperidine, Limonene, Limonin, Linalool, Myricetin, Naringenin, Nerol, nomilin, Pinene, Quercetin, Rutin, Scopoletin, Umbelliferone สารขมในเปลือกชื่อ Naringin

การศึกษาทางเภสัชวิทยา : ต้านเชื้อรา ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านไวรัส ฆ่าแมลง ฆ่าเห็บวัว ยับยั้งเอนไซม์ Cyclooxygenase ลดการอักเสบ ยับยั้งการทำงานของต่อมไทรอยด์ ยับยั้งการกลายพันธุ์ ต้านออกซิเดชัน ขับเสมหะ แก้ไอ เพิ่มปริมาณน้ำนมในวัว เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553)

4) อบเชย

ภาพ 2.19 เปลือกอบเชย

ชื่อ : อบเชย

ได้จาก : เปลือกต้นชั้นใน (ภาพ 2.19)

ชื่อพืชที่ให้เครื่องยา : อบเชย

ชื่ออื่น : อบเชยต้น, มหาปราบ, เชียด, ฝักดาบ, พญาปราบ, ฮักแกง, สุรามริด, โมง, โมงหอม, เคียงกะทังหัน

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cinnamomum* spp.

ชื่อวงศ์ : Lauraceae

ลักษณะภายนอก : อบเชย เป็นเครื่องยาและเครื่องเทศที่ได้จากการขูดเอาเปลือกชั้นนอกออกให้หมด แล้วลอกเปลือกชั้นในออกจากแก่นลำต้น โดยใช้มีดกรีดตามยาวของกิ่ง แล้วรวบรวมนำไปผึ่งที่ร่มสลับกับการนำออกตากแดดประมาณ 5 วัน ขณะตากใช้มือม้วนขอบทั้งสองข้างเข้าหากันจนเปลือกแห้งจึงมัดรวมกัน เปลือกอบเชยที่ดีจะมีสีน้ำตาลอ่อน (สีสนิม) มีความตรงและบางสม่ำเสมอ ยาวประมาณ 1 m มีกลิ่นหอมเฉพาะ รสสุขุม เผ็ด หวานเล็กน้อย

ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดี : ข้อกำหนดของอบเชยเทศ ตาม WHO กำหนด คือ ปริมาณสิ่งแปลกปลอมไม่เกินร้อยละ 2 w/w ปริมาณเถ้ารวมไม่เกินร้อยละ 6 w/w ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกินร้อยละ 4.0 w/w ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล (ร้อยละ 90) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 14-16 w/w ปริมาณน้ำมันระเหยง่าย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.2 v/w

สรรพคุณ : ตำรายาไทย: น้ำต้มเปลือกต้น ดื่มแก้ตับอักเสบ อาหารไม่ย่อย แก้ท้องเสีย ลำไส้เล็กทำงานผิดปกติ ขับพยาธิ มีสรรพคุณบำรุงดวงจิต แก้อ่อนเพลีย ชูกำลัง ขับผายลม บำรุงธาตุ แก้บิด

แก้ลมอัณฑพฤกษ์ แก้ไข้สันนิบาต ใช้ปรุงเป็นยานัตถุ์แก้ปวดหัว รับประทานแก้เบื่ออาหาร แก้จุกเสียด แน่นท้อง อาหารไม่ย่อย แก้ไอ แก้ไข้หวัด ลำไส้อักเสบ ท้องเสียในเด็ก อาการหวัด แก้อ่อนเพลีย คลื่นไส้อาเจียน แก้ปวดประจำเดือน ห้ามเลือด บดเป็นผงโรยแผลกามโรค สมานแผล

อบเชยมีการนำมาใช้ในพิกัดยาไทย คือพิกัดตรีธาตุ ประกอบด้วย กระวาน ดอกจันทน์ และอบเชย เป็นยาแก้ธาตุพิการ แก้ลม แก้เสมหะ แก้ไข้ พิกัดตรีทิพย์รส” คือการจำกัดจำนวนของที่มีรสดี 3 อย่าง คือโกฐกระดูก เนื้อไม้ และอบเชยไทย มีสรรพคุณบำรุงธาตุ บำรุงกระดูก บำรุงตับปอดให้เป็นปกติ แก้ลมในกองเสมหะ บำรุงโลหิตพิกัดจตุวาตะผล คือการจำกัดจำนวนตัวยาแก้ลม ประกอบด้วยผล 4 อย่าง คือ เหง้าขิงแห้ง กระลำพัก อบเชยเทศ และโกฐหัวบัว มีสรรพคุณแก้ไข้ แก้พรรดึก แก้ตรีสมุฏฐาน ขับผายลม บำรุงธาตุ แก้ลมกองริดสีดวง พิกัดทศกุลาผล คือการจำกัดจำนวนตัวยาตระกูลเดียวกัน 10 อย่าง มีชะเอมทั้ง 2 (ชะเอมไทย ชะเอมเทศ) ลูกผักชีทั้ง 2 (ผักชีล้อม ผักชีลา) อบเชยทั้ง 2 (อบเชยไทย อบเชยเทศ) ลำพันทั้ง 2 (ลำพันแดง ลำพันขาว) ลูกเร่วทั้ง 2 (เร่วน้อย เร่วใหญ่) มีสรรพคุณ แก้ไข้เพื่อดีและเสมหะ ขับลมในลำไส้ บำรุงธาตุ บำรุงปอด แก้รัตตะปิตตะโรค แก้ลมอัมพฤกษ์ อัมพาต บำรุงกำลัง บำรุงดวงจิตให้แช่มชื่น แก้ไข้

องค์ประกอบทางเคมี : น้ำมันหอมระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ Cinnamaldehyde ประมาณ ร้อยละ 51-76 พบ Eugenol เล็กน้อยประมาณ ร้อยละ 5-18

การศึกษาทางเภสัชวิทยา : ต้านแบคทีเรียและเชื้อรา แก้ปวดและต้านอักเสบ ต้านออกซิเดชั่น ต้านมะเร็งเม็ดเลือดขาว ลดความดัน ลดการหดเกร็งของหลอดลม ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และกระเพาะอาหาร ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้นในหนู ลดน้ำตาลและไขมันในเลือดหนู มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง

การศึกษาทางพิษวิทยา : การทดสอบพิษเฉียบพลันของสารสกัดเปลือกอบเชยญวณด้วยการเอทานอลร้อยละ 50 โดยให้หนูกินในขนาด 10 g/BW 1 kg (คิดเป็น 926 เท่า เปรียบเทียบกับขนาดรักษาในคน) และให้โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังหนู ในขนาด 10 g/BW 1 kg ตรวจไม่พบอาการเป็นพิษ (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553)

2.3 กระบวนการสกัดสารสมุนไพร

2.3.1 วิธีการสกัดสมุนไพร

1) การสกัดด้วยวิธีเพอร์โคเลชัน (Percolation)

การสกัดโดยวิธีนี้ เป็นการสกัดโดยปล่อยให้ตัวทำละลายไหลผ่านตัวสมุนไพรอย่างช้าๆ ต่อเนื่อง เพื่อละลายเอาสารออกฤทธิ์จากสมุนไพรให้ออกมา การสกัดแบบนี้จะใช้เครื่องมือช่วยสกัดที่ชื่อว่าเครื่องเพอร์โคเลเตอร์ (Percolator) เหมาะกับการสกัดสมุนไพรหลากหลายรูปแบบ การสกัดวิธีนี้ต้องสกัดหลายครั้ง เพื่อให้ได้สารสำคัญมากที่สุด วิธีคือ บดสมุนไพรให้ละเอียด ทำการหมักให้พองตัวประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นบรรจุผงสมุนไพรในเพอร์โคเลเตอร์ทีละน้อยให้เป็นชั้นๆ ใส่ตัวละลายลงไปให้ท่วมสมุนไพรทิ้งไว้ 1-2 วัน ต่อจากนั้นจึงไขท่อข้างล่างเพื่อให้สารสกัดออกมาแล้วเติมตัวทำละลายลงไปเรื่อยๆ จนการสกัดสารสกัด

สมบูรณ์และบีบสารละลายออกจากกากจึงนำไปกรอง วิธีนี้เป็นวิธีการสกัดที่สมบูรณ์ เนื่องจากไม่ต้องใช้ความร้อนเพราะความร้อนอาจทำให้สารสกัดที่ได้มีประสิทธิภาพด้อยลง ข้อเสียคือสิ้นเปลืองน้ำยาสกัดและใช้เวลาที่สกัดนาน

2) การสกัดสมุนไพรต่อเนื่อง (Continuous Extraction)

การสกัดโดยวิธีนี้ คือ การสกัดสมุนไพรหรือการสกัดสารสกัดจากพืชที่คล้ายกับวิธีเพอร์โคเลชัน แต่การสกัดแบบต่อเนื่องจำเป็นที่จะต้องใช้ความร้อนที่มีจุดเดือดต่ำเข้าช่วย ทำในเครื่องซอคเลต (Soxhlet extractor) ทำให้เกิดตัวทำละลายที่มีความร้อน ตัวทำละลายจะระเหยแล้ว กลั่นตัวผ่านสมุนไพรซ้ำไปมาจนได้สารสกัดสมุนไพรบริสุทธิ์ วิธีสกัดสมุนไพรแบบต่อเนื่อง มักใช้ในกรณีที่ต้องการแยกน้ำมันออกจากสารสกัดบริสุทธิ์ วิธีสกัดนี้เหมาะสำหรับสกัดองค์ประกอบที่ทนความร้อนและประหยัดตัวทำละลาย ข้อควรระวังในการสกัดวิธีนี้คือ ความร้อนที่ใช้ในการสกัดอาจทำให้สารเคมีบางชนิดในพืชสลายตัว

3) การสกัดด้วยการกลั่น (Distillation Extraction)

การสกัดวิธีนี้มักใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยปกติการกลั่นจะต้องใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของพืช ความร้อนจะค่อยๆ ทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอ ปนมากับน้ำร้อนหรือไอน้ำ ข้อเสียของการสกัดวิธีนี้คือ ค่อนข้างจะยุ่งยากกว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำลาย เพราะต้องมีเครื่องมือเฉพาะ

4) การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and Steam Distillation) จะใช้ตะแกรงรองของที่จะกลั่นให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่น ส่วนน้ำจะไม่ถูกกับตัวอย่างเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว เป็นไอน้ำที่ไม่ร้อนจัด ซึ่งการกลั่นวิธีนี้ ต้องมีหม้อกลั่น (Still) เครื่องควบแน่น (Condenser) และภาชนะรองรับ (Receiver) เป็นต้น (Beautycosmet, 2564)

ไฮโดรโซล (Hydrosol) หรือ น้ำสกัดน้ำมันหอมระเหย คือ สารสกัดในชั้นน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยไอน้ำ โดยปกติการสกัดจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า น้ำมันหอมระเหย จะลอยอยู่ชั้นบนสุด และสารสกัดชั้นต่อไปหรือชั้นน้ำ เรียกว่า ไฮโดรโซล โดยชั้นน้ำจะเรียกอีกชื่อว่า น้ำสกัดกลิ่นดอกไม้ (Floral water) เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมนำมาสกัดดอกไม้เพื่อนำสารสกัดดังกล่าวใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางส่วนชั้นน้ำที่ได้เรียกว่า ไฮโดรโซล (วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2565)

2.3.2 สารที่ใช้ในการทดลองเพื่อยับยั้งสารพิษและสารเคมีสังเคราะห์

สารส้ม Ammonium alum และ Potassium alum คือ เกลือเชิงซ้อนของสารประกอบที่มีธาตุอะลูมิเนียมและซัลเฟต เป็นส่วนประกอบหลัก หรือ รู้จักในนามว่าสารส้ม (Alum) หรือ ผลึกเกลือ มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ $(SO_4)_2{\cdot}12H_2O$ การนำสารส้มไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรม และส่วนที่เกี่ยวข้องกับผิวหนังของคน เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ ย้อมผ้า ฟอกหนัง ผสมเป็นยาดับเพลิง สารดับกลิ่น ฟอกสี และผสมทำผงฟูใช้ในการทำขนมปัง เป็นต้น Selenate alums เป็นสารประกอบซัลเฟตที่มีส่วนผสมของซีลีเนียม เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงมาก นิยมนำไปใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคอะลูมิเนียมซัลเฟต นิยม

ใช้ในการย้อมสีเสื้อผ้า ทำโฟม ทำเสื้อป้องกันไฟ และยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตอีเทน ควบคุมค่า pH ในอุตสาหกรรมกระดาษ สามารถใช้เป็นสารป้องกันน้ำในคอนกรีต ใช้เป็นสารหล่อลื่น ดับกลิ่น และสีในอุสาหกรรมปิโตรเลี่ยมรีไฟนิ่ง การนำมาใช้เป็นการใช้สารส้มแกว่งลงในน้ำที่มีการปนเปื้อนของสีย้อม และสารฟอกสีให้เกิดการตกตะกอนเพื่อใช้ในการบำบัดขั้นต่อไปการดูดซับ (Adsorption) นิยมใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีที่ไม่สามารถกำจัดในระบบตกตะกอนทางเคมี หรือระบบบำบัดทางชีวภาพ มักใช้เป็นระบบขั้นสุดท้ายก่อนระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เช่น ไคโตซาน และแทนนิน ถูกได้นำมาพัฒนาเม็ดบีทไคโตซานแทนนิน เพื่อใช้กำจัดสีในน้ำเสีย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

2.4 การบำบัดน้ำปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์

กระบวนการในการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอนั้นมีที่นิยมใช้คือ

2.4.1 กระบวนการทางเคมี คือ กระบวนการที่เกิดจากการที่สารเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วส่งผลให้เกิดสารใหม่ขึ้นมา ซึ่งมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม (นิตยา ผาสุขพันธุ์, 2558) ได้แก่

1) กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photo catalytic process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีโดยใช้ตัวแคตาลิสต์ ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ โดยกระตุ้นด้วยแสง ตัวแคตาลิสต์นี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานการกระตุ้นของปฏิกิริยา หลักการทำงานของกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน (Photo catalytic oxidation) คือ การให้พลังงานแสงเข้าไปในระบบเพื่อเอาชนะค่าแถบพลังงาน (Energy band gap) ซึ่งเป็นค่าของความแตกต่างระหว่างการทำงานของแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) กับแถบพลังงานที่เต็มแล้ว (Valence band) ซึ่งเมื่อพลังงานแสงที่ให้แก่ระบบมากกว่าแถบพลังงาน แล้วมีการสร้างอิเล็กตรอนที่มีประจุ (Electron hole pairs) ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน สำหรับกระบวนการโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน แสงที่ให้แก่ระบบมักเป็นแสงอัลตราไวโอเลต (อดิศร จาตุรพิรีย์, 2543)

2) การออกซิเดชั่น (Oxidation) คือ ปฏิกิริยาที่อะตอมหรือโมเลกุลเกิดการสูญเสียหรือให้อิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมอื่นเพื่อสร้างความเสถียรให้กับโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจะเกิดควบคู่กับปฏิกิริยารีดักชั่น (Reduction) เสมอ ตัวที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ตัวที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมีเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติและสามารถสร้างด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์ (Jensen, 2007)

2.4.2 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี คือ เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสีย ที่ผ่านกระบวนในขั้นตอนอื่นแล้ว กระบวนการทางกายภาพ-เคมี ดังต่อไปนี้

1) การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon adsorption) วิธีการนี้ใช้ผงถ่านหรือคาร์บอนเป็นตัวดูดซับสารเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง

2) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) วิธีการนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียกับตัวกลางที่บรรจุซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (สุภาพร ชัยธัมมะปกรณ์, 2550)

2.4.3 กระบวนการทางชีวภาพ คือ ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Biodegradable organic compound) โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและสารตั้งต้นในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ (New cell) และได้ผลผลิต คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และสารตกค้างซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Non biodegradable residual) (สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญและ ปราโมช เชี่ยวชาญ, 2548)

2.5 การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร

การทดสอบพิษวิทยาหรือที่เรียกว่าการทดสอบความเป็นพิษหรือการประเมินความปลอดภัย ดำเนินการเพื่อกำหนดระดับที่สารสามารถเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะดำเนินการเพื่อตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค

การทดสอบทางพิษวิทยามีความสำคัญมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยาและเคมีเกษตรจำนวนมากจำเป็นต้องได้รับการปรับแต่งและประเมินความปลอดภัยก่อนนำเสนอ การทดสอบทางพิษวิทยามักทำเพื่อระบุและทำนายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อมนุษย์ สัตว์เลี้ยง และสัตว์ป่า ได้แก่ ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์, ความเป็นพิษต่อพัฒนาการ, ความเป็นพิษต่อผิวหนัง, ความเป็นพิษต่อพันธุกรรม, การก่อมะเร็ง ความเป็นพิษต่อระบบประสาท และความเป็นพิษต่อระบบประสาท ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน (ห้องปฏิบัติการทดสอบพิษวิทยา, 2560)

เชื้อจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมมีหลากชนิดและหลากหลายสายพันธุ์ที่ปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อมและร่างกายของสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ ซึ่งมีจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อโรคหรือเป็นประโยชน์ในสภาวะปกติต่อร่างกายมุนษย์ ทั้งนี้การทดสอบความเป็นพิษของสมุนไพรจึงมีความสำคัญที่ต้องทดสอบต่อเชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่นเพื่อประเมินความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานสมุนไพร ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบมีดังนี้

2.5.1 ตัวอย่างจุลินทรีย์

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Bacillus cereus* (ภาพ 2.20)

Genus: *Bacillus*

Class: Bacilli

Family: Bacillaceae

Order: Bacillales

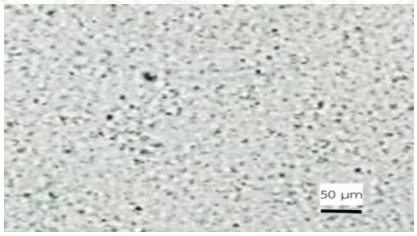
Phylum: Bacillota

Kingdom: Monera

คุณสมบัติทั่วไปของบาซิลัส

Bacillus คือ แบคทีเรีย (Bacteria) รูปร่างเป็นท่อน (Rod shape) ย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive bacteria) ซึ่งอยู่ในวงศ์เดียวกับ *Clostridium* และ *Desulfotomaculum Bacillus* เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลล่า (Flaggella) ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (Aerobic bacteria) แต่บางชนิดเป็น Facultative anaerobic bacteria หรือ แบคทีเรียที่สามารถได้ทั้งมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

Bacillus เป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อน (Thermoduric bacteria) ที่สร้างเอนโดสปอร์ (Spore forming bacteria) สปอร์แบคทีเรีย (Bacterial spore) ของ *Bacillus* จะทนต่อความร้อน ทนต่อความแห้งแล้ง สารเคมี และสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ ได้ดี เป็น Protiolytic bacteria มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยโปรตีนในอาหารให้เป็นกรดแอมิโน เป็นจุลินทรีย์สาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (Microbial spoilage) และทำให้อาหารที่เน่าเสียเกิดกลิ่นเหม็น แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* ส่วนใหญ่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria) อุณหภูมิที่เจริญได้ดีอยู่ระหว่าง 30-40°C แต่บางสายพันธุ์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของอาหารกระป๋อง (Canned food spoilage) และยังพบบางสายพันธุ์เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic bacteria) เจริญได้ในค่า pH ช่วงกว้าง ตั้งแต่ 2 ถึง 11 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าในสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญ *Bacillus* หลายสายพันธุ์ มีระยะเวลาการแบ่งตัว (Generation time) ประมาณ 25 นาที (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553)



ภาพ 2.20 ลักษณะของ *Bacillus cereus*

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Lactobacillus* spp. (ภาพ 2.21)

Genus: *Lactobacillus*

Class: Bacilli

Family: Lactobacillaceae

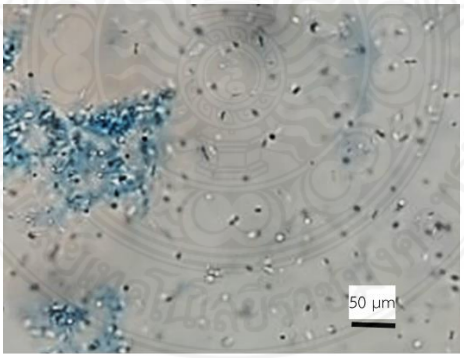
Order: Lactobacillales

Phylum: Bacillota

Kingdom: Monera

คุณสมบัติทั่วไปของแลคโตบาซิลลัส

แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus* spp.) เป็นแบคทีเรียติดสีแกรมบวก รูปร่างแท่ง (Gram positive bacilli) การเรียงเซลล์มีทั้งเดี่ยวและเรียงต่อกันเป็นสายยาว ไม่สร้างสปอร์ ไม่ ปัจจุบันมีมากกว่า 152 สปีชีส์ และ 17 สับสปีชีส์ แลคโตบาซิลลัสอาศัยอยู่ตามสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ น้ำนม อาหารหมักพื้นเมือง (ปลาร้า ปลาส้ม ปลาจ่อม แหนม และหม่ำ) ผักและผลไม้ ระบบทางเดินอาหาร และบริเวณช่องคลอดของคนและสัตว์ แลคโตบาซิลลัสบางสายพันธุ์ถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นสายพันธุ์โพรไบโอติก (Probiotic) ซึ่งหมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิต หากคนได้รับประทานในปริมาณที่เหมาะสมก็จะเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย โดยแลคโตบาซิลลัสสายพันธุ์โพรไบโอติกส่วนใหญ่คัดแยกได้จากระบบทางเดินอาหารของคน สปีชีส์ของแลคโตบาซิลลัสที่ใช้เป็นโพรไบโอติก ได้แก่ *L. acidophilus, L. bulgaricus, L. casei, L. plantarum* และ *L. rhamnosus* (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553)



ภาพ 2.21 ลักษณะของ *Lactobacillus* spp.

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Saccharomyces cerevisiae* (ภาพ 2.22)

Genus: *Saccharomyces*

Class: Ascomycetes

Family: Saccharomycetaceae

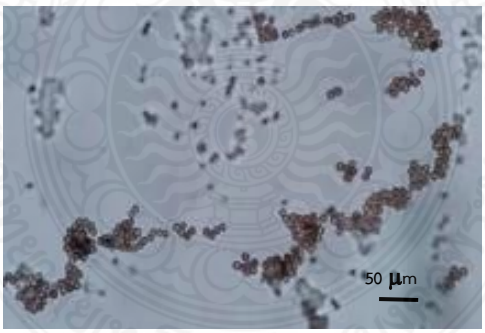
Order: Saccharomycetales

Phylum: Ascomycota

Kingdom: Fungi

คุณสมบัติทั่วไปของยีสต์

รูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดเล็กมากเพียง 3 – 4 µm ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงยังเห็นเป็นเซลล์ค่อนข้างกลมขนาดเล็กเท่านั้นโครงสร้างของเซลล์ประกอบด้วยผนังเซลล์ (Cell wall) ภายในเป็นของเหลว (Cytoplasm) นิวเคลียส (Nucleus) รูปทรงกลมขนาดใหญ่อยู่เกือบกลางเซลล์ และมีช่องว่าง (Vacuole) ขนาดใหญ่อยู่ทางด้านท้ายของเซลล์ จัดอยู่ในกลุ่มจำพวกเห็ดรา (Fungi) ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยวิธีการแตกหน่อ พบทั่วไปในธรรมชาติในดิน ในน้ำ ในส่วนต่างๆ ของพืช ยีสต์บางชนิดพบอยู่กับแมลง และในกระเพาะของสัตว์บางชนิด แต่แหล่งที่พบยีสต์อยู่บ่อยๆ คือแหล่งที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ยีสต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ มักจะปนลงไปในอาหาร เป็นเหตุให้อาหารเน่าเสีย ยีสต์มีทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษต่ออาหาร มีการนำยีสต์มาใช้ประโยชน์นานมาแล้ว โดยเฉพาะการผลิตอาหารที่มีแอลกอฮอล์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553)



ภาพ 2.22 ลักษณะของ *Saccharomyces cerevisiae*

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Aspergillus niger* (ภาพ 2.23)

Genus: *Aspergillus*

Class: Eurotiomycetes

Family: Aspergillaceae

Order: Eurotiales

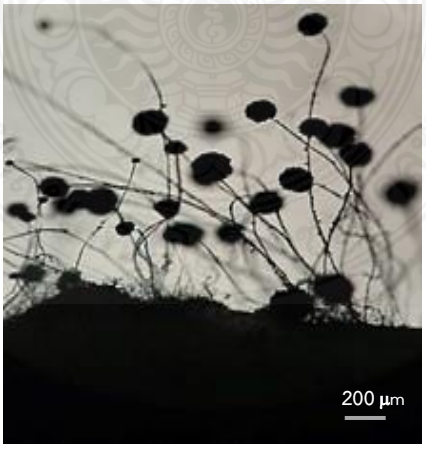
Phylum: Ascomycota

Kingdom: Fungi

คุณสมบัติทั่วไปของเชื้อราชนิด *Aspergillus niger*

Aspergillus จัดเป็นราในกลุ่ม Ascomycetes เป็นเชื้อราที่พบได้ทั้งในรูปของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ เรียกว่า Condinia ไฮฟา (Hyphae) เป็นแบบไม่ผนังกั้น มีเส้นใยที่แตกแขนง เส้นใยของเชื้อราไม่มีสี แต่ละส่วนที่กั้นแล้วมีนิวเคลียสหลายอัน ก้านชูสปอร์ (Conidiophore) เกิดจาก Foot cell ก้านชูสปอร์ อาจมีผนังกั้นหรือไม่มีก็ได้ ที่ส่วนปลายของก้านชูสปอร์ จะโป่งออกเป็นเวสซิเคิล (Vesicle) และมีส่วนที่ยื่นออกมาเป็น สเตอริกมา (Sterigma) ซึ่งอาจมีชั้นเดียวหรือสองชั้นก็ได้ โคนิเดีย (Conidia) ถูกสร้างขึ้นภายในสเตอริกมา โคนิเดียที่สร้างขึ้นภายหลังจะดันโคนิเดียอันแรกๆ ออกมา และยังติดต่อกันอยู่ จึงเกิดเป็นสายของโคนิเดีย มีรูปร่างทรงกลม มีหลายสี เช่น ดำ เขียว น้ำตาล

การใช้ประโยชน์ ได้แก่ การหมักอาหาร ได้รับการนิยมอย่างกว้างขวางในแถบเอเชีย ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนิเซีย ซึ่งใช้เพื่อการผลิตอาหารหมัก จากถั่วเหลือง และเมล็ดธัญพืช เช่น ซีอิ้ว (Fermented soy sauce) มิโซ (Miso) เต้าเจี้ยว (Bean paste) และสาเก (Sake) เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553)



ภาพ 2.23 ลักษณะของ *Aspergillus niger*

โดยเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้ทั้งในร่างกายและนอกร่างกายของมนุษย์ ซึ่งจากการงานวิจัยนี้ได้ใช้เชื้อจุลินทีย์กลุ่มนี้ในการทดสอบ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ก่ออันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นการนำเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนี้นำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนของผู้ใช้งาน หากสารสกัดที่ใช้มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถสรุปได้ว่าสารสกัดที่ใช้อาจก่อความเป็นพิษต่อผู้ใช้งานสารสกัดสมุนไพร

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทพร มณีเสน (2563) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาของการใช้รางจืด เป็นยาต้านพิษ และได้ผลการศึกษาพบว่า โรคหรืออาการที่สามารถใช้รางจืดรักษาได้มีดังนี้ อาหารเป็นพิษ แพ้ยา แพ้อาหาร สูดดมและสัมผัสสารเคมีเกษตร เป็นลมพิษ แมลงสัตว์กัดต่อย โดยรูปแบบการใช้รางจืดมีทั้งชนิดรับประทานและใช้ภายนอก เช่น ใช้เป็นชาชง ใบสดเคี้ยวกลืนน้ำ กากใช้พอกแผล ใบเถารากต้มน้ำดื่ม ใช้ใบสดผสมเหล้าขาวทาแผล ระยะเวลาการทำจากโรคหลังใช้รางจืดพบว่า เริ่มมีอาการดีขึ้นเฉลี่ยภายใน 20 นาที อาการหายเป็นปกติเฉลี่ยภายใน 60 นาที อาการข้างเคียงหลังจากใช้รางจืด พบว่าผู้ป่วยเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากการใช้รางจืด 7 คน โดยมีอาการดังนี้ ผู้ป่วยมีความดันโลหิตลดลงเล็กน้อย 1 คน ผู้ป่วยมีระดับน้ำตาลในเลือดลดลง เกิดอาการเวียนศีรษะ ใจสั่น 3 คน ผู้ป่วยเกิดอาการอาเจียน 3 คน (จากอาหารเป็นพิษ, เมากลอย และแพ้กุ้ง) ผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้ทราบถึงรูปแบบต่างๆ ของระยะเวลาที่รางจืดเริ่มออกฤทธิ์จนกระทั่งผู้ป่วยหายเป็นปกติและอาการไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้น เมื่อใช้รางจืดเป็นยาต้านพิษ

ฐิติกร พรหมบรรจง และคณะ (2562) ได้ศึกษาความสามารถในการสลายสีเมทิลีนบลู ด้วยการใช้เม็ดบีทเพื่อตรึงสารสกัดหยาบจากใบรางจืด ซึ่งตรึงเม็ดบีทด้วย Calcium alginate โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส พบว่าสารสกัดหยาบใบรางจืดความเข้มข้นที่ 5,567.50±446.60 ยูนิคต่อมิลลิกรัม สามารถสลายสีเมทิลีนบลูได้ร้อยละ 91.35 มีค่า pH เท่ากับ 9 อุณหภูมิที่สามารถสลายสีได้ดีที่สุด เท่ากับ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเม็ดบีทสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ 20 รอบ โดยในรอบที่ 20 มีความสามารถในการสลายสีเมทิลีนบลูร้อยละ 59.43

วรรษวรรณ เที่ยงวรรณกานต์ (2563) ได้ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟ โดยการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี การศึกษาจากความเข้มข้นของสีย้อม Reactive Red 180 เท่ากับ 200 mg/L ใช้ค่าการนำไฟฟ้าเป็น 7.2 ms/cm ความต่างศักย์ที่ 6.4 V ในเวลา 30 นาที จากการศึกษาพบว่าการใช้วิธีการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว สามารถกำจัดสีย้อม Reactive Red 180 มีประสิทธิภาพกำจัดสีได้ร้อยละ 96 ในระยะเวลา 30 นาที

ชิตินทร บุญสุขจิตเสรี และศุภนิดา หอมพูลทรัพย์ (2541) ได้ศึกษาสเปรย์ขจัดคราบมันจากน้ำมันเปลือกส้มโอพบว่า บริเวณเปลือกส้มโอมีน้ำมันที่เปลือก มีคุณสมบัติในการช่วยสลายหรือลดปริมาณคลอเรสเตอรอล จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของน้ำมันเปลือกส้มโอร้อยละ 1.5 (v/v) มีความเหมาะสมสำหรับชำระล้างคราบมัน

ปวีณา ธนะสังข์ (2539) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีออกซิเดชั่น สารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์ที่ทำการศึกษา คือ เฟนตอนรีเอเจนต์ และโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ตามลำดับ สีสังเคราะห์ที่ ใช้ทดลอง 4 ประเภท ได้แก่ สีไดเรคท์ สีรีแอคทีฟ สีแอซิด และสีเบสิค จากการศึกษาพบว่าการบำบัดโดย $Na_2S_2O_4$ มี pH ที่เหมาะสมในช่วง 4.0-5.0 ใช้เวลาในการกวนช้า 20 นาที และเวลาในการตกตะกอนนาน 30 นาที โดยปริมาณ $Na_2S_2O_4$ ที่เหมาะสมคือ 60-80 ppm ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีในช่วงร้อยละ 65.6-79.8 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 99.5, 98.4, 96.0 และ99.2 ตามลำดับ และการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้เฟนตอนรีเอเจนต์ พบว่า pH ที่เหมาะสมคือ 4.0 ใช้เวลาในการกวนช้า 20 นาที และเวลาในการตกตะกอนนาน 20 นาที โดยปริมาณ $FeSO_4$ และ H_2O_2 ที่เหมาะสมคือ 110.0-185.0 ppm และ 18.8-36.0 ppm ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วย ADMI อยู่ในช่วงร้อยละ 82.5-94.4 และประสิทธิภาพในการลด COD ร้อยละ 36.8-61.1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 98.0, 97.9, 92.2 และ 99.0 ตามลำดับ

นภา ศิวรังสรรค์ (2542) ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยการใช้สารช่วยสร้างตะกอน ชนิดโพลีเมอร์ประจุบวก 2 ชนิด คือ Lamfloc 1525 และ Zentrifloc 95 โดยใช้สารละลายสีย้อมสังเคราะห์ 2 ชนิดคือ (1) สีย้อมแว็ต ซึ่งมีโทนสีเหลืองและ (2) สีย้อมรีแอคทีฟ ซึ่งมีโทนสีน้ำเงิน ความเข้มข้น 500 ppm ผลจากการศึกษาพบว่า Lamfloc 1525 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่า Zentrifloc 95 และสารส้ม Lamfloc 1525 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้ง 2 ร้อยละ 91-97 Zentrifloc 95 ประสิทธิภาพการกำจัดสีแว็ตร้อยละ 76.65-87.46 และสีรีแอคทีฟ ร้อยละ 83.22 และสารส้มมีประสิทธิภาพการกำจัดสีแว็ตร้อยละ 81-80 และสีรีแอคทีฟร้อยละ 40

Shimna, K. et al. (2017) ได้ศึกษาระดับฟีนอลในเปลือกและใบของพืชตระกูล *Cinnamomum* พบว่าในใบมีปริมาณฟีนอลร้อยละ 4.1-7.4 และพบในเปลือกไม้มีปริมาณฟีนอลร้อยละ 4.3-6.8 จากผลการศึกษาพบว่า สารฟีนอลิกในพืชสามารถจับโลหะออกจากสารละลายได้ถึง 100-150 mg/L

Pabón, S. et al. (2022) ได้ศึกษาวิธีการกำจัดปรอทจากสารละลายน้ำโดยอนุภาคนาโนเหล็กสังเคราะห์จากสารสกัดจากยูคาลิปตัสพบว่า การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กที่สกัดมาจากยูคาลิปตัสและเกลือเหล็กคลอไรด์ (Iron chloride salts) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายพบว่า มีประสิทธิภาพดูดซับปรอทร้อยละ 79.26 ทั้งนี้พบว่าการใช้อนุภาคนาโนเหล็กที่สกัดจากยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพเทียบเท่าเทคโนโลยีดูดซับอื่น ๆ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

การศึกษาวิจัย เรื่องนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง มีวิธีการดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพร

3.2.2 การศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

3.2.4 การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา

3.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 ใบรางจืด

3.1.2 ใบยูคาลิปตัส

3.1.3 เปลือกส้มโอ

3.1.4 อบเชย

3.1.5 Ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 80 (v/v)

3.1.6 Crystal Violet

3.1.7 Methylene Blue

3.1.8 C.I. Reactive Brown 18

3.1.9 Safranin

3.1.10 เครื่องเขย่าสาร

3.1.11 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.1.12 เตาให้ความร้อน (Hot plate)

3.1.13 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น SPECTRONIC™ 200

3.1.14 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยแรงดันไอน้ำ (Autoclave)

3.1.15 กล้องจุลทรรศน์ชนิด Compound light microscope รุ่น Motic BA310E

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพร

3.2.2 การศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

3.2.4 การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่ม แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา

3.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งาน

3.2.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นและการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพร

ก) การเตรียมสารสกัดสมุนไพร

1) ชนิดและปริมาณสมุนไพร 4 ชนิด คือ

1.1) ใบรางจืด 850 g

1.2) ใบยูคาลิปตัส 850 g

1.3) เปลือกส้มโอ 850 g

1.4) อบเชย 100 g

2) ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดสมุนไพร

2.1) ล้างใบรางจืดและใบยูคาลิปตัสให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง และตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 1-2 cm (ภาพ 3.1ก.)

2.2) ล้างเปลือกส้มโอให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง เฉือนเอาเปลือกส้มโอชั้นนอกของเปลือกส้มโอเป็นชิ้น ประมาณ 4-5 cm (ภาพ 3.1ข.)

2.3) ล้างอบเชยให้สะอาด แล้วแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมงให้นิ่ม ผึ่งให้แห้ง และหั่นให้เป็นชิ้นประมาณ 10 cm (ภาพ 3.1ค.)

2.4) แช่สมุนไพรแต่ละชนิดที่ได้ในตัวทำละลาย Ethanol ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 (v/v) ให้ได้ปริมาณ 5 L แล้วปิดภาชนะให้สนิท เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (25-30°C) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาระเหย Ethanol ออกด้วยการให้ความร้อนที่ 50°C (ภาพ 3.1จ.)

2.5) กรองสารสกัดสมุนไพร แยกส่วนตะกอนทิ้ง (ภาพ 3.1ฉ) และเก็บสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นที่ผ่านการระเหย Ethanol ที่อุณหภูมิ 4°C แล้ว สำหรับนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

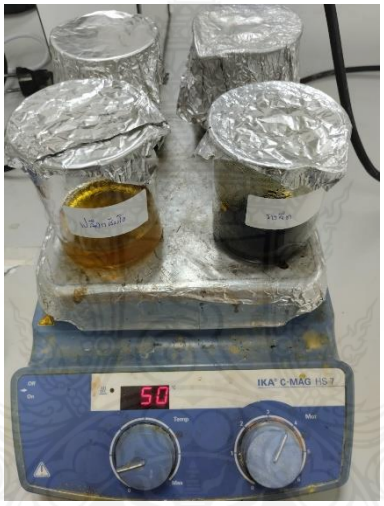
ก) ตัดใบรางจืด (ซ้าย) และใบยูคาลิปตัส (ขวา) เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 1-2 cm

ข) เฉือนเปลือกส้มโอชั้นนอกของเปลือกส้มโอส่วนสีเขียว แล้วหั่นให้เป็นชิ้น ขนาดประมาณ 4-5 cm

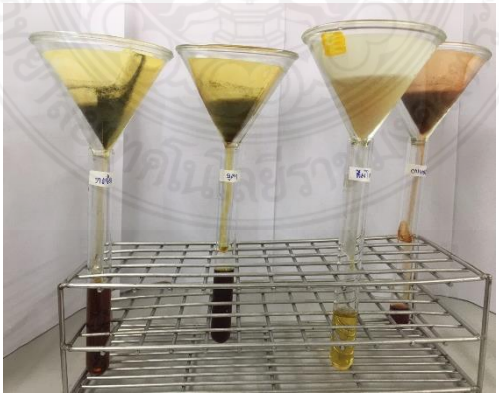
ค) ล้างอบเชยและแช่ในน้ำสะอาด

ภาพ 3.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพร

ง) แช่สมุนไพรแต่ละชนิดในสารละลาย 80 (v/v) Ethanol ระยะเวลานาน 1 สัปดาห์



จ) ระเหย Ethanol ออกจากสารสกัดสมุนไพรด้วยการให้ความร้อนที่ 50°C



ฉ) กรองสารสกัดสมุนไพร

ภาพ 3.1 การเตรียมสารสกัดสมุนไพร (ต่อ)

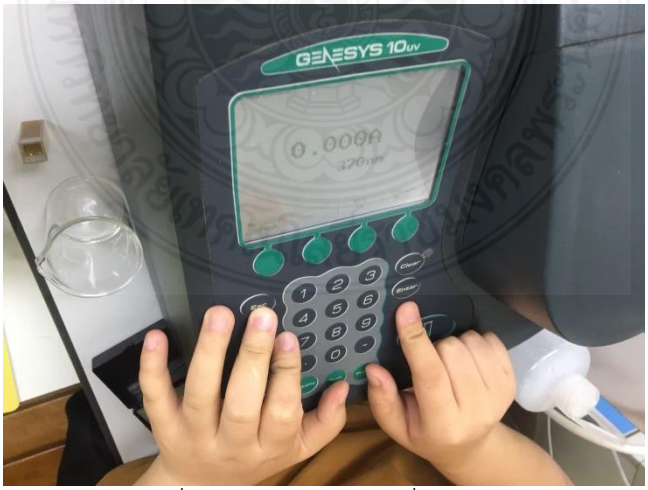
ข) การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพร

1) นำตัวอย่างสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นทั้ง 4 ชนิด ที่ผ่านการกรองแล้ว มาเจือจาง 10^2 เท่า เพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นให้ได้อยู่ในช่วงค่า OD. ไม่เกิน 1.0

2) เทสารสกัดสมุนไพรที่เจือจางใส่ใน Cuvette (ภาพ 3.2ก.)

3) ปรับค่าความยาวคลื่นของเครื่อง Spectrophotometer ตั้งแต่ 190 – 800 nm ตั้งค่า Blank ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น Zero ก่อนการวัดค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดสมุนไพร บันทึกผลการวัดค่าความเข้มข้นสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด (ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย) (ภาพ 3.2ข.)

ก) ลักษณะของ Cuvette



ข) ปรับความยาวคลื่น (Wavelength) เพื่ออ่านค่าการดูดกลืนแสง

ภาพ 3.2 การวัดค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารสกัดสมุนไพร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.2.2 ความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

ก) การลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง

1) เตรียมสารสะลายสารเคมีสังเคราะห์

1.1) เตรียม C.I. Reactive Brown 18 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า ความเข้มข้นของสารที่ 0.001 ppm

1.2) เตรียม Crystal Violet 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า ความเข้มข้นของสารที่ 0.001 ppm

1.3) เตรียม Safranin 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า ความเข้มข้นของสารที่ 0.001 ppm

1.4) เตรียม Methylene Blue 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า ความเข้มข้นของสารที่ 0.001 ppm

2) การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารเคมีสังเคราะห์

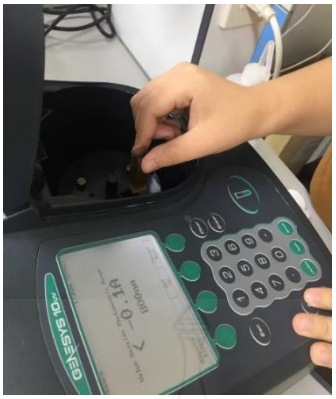
2.1) นำตัวอย่างสารเคมีสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด (C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Safranin และ Methylene Blue) ที่เจือจางแล้ว นำไปวัดค่าความเข้มข้นให้ได้อยู่ในช่วงค่า OD. ไม่เกิน 1.0

2.2) ปรับค่าความยาวคลื่นของเครื่อง Spectrophotometer ตั้งแต่ 190 – 800 nm โดยตั้งค่า Blank ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น Zero ก่อนการวัดค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีสังเคราะห์ บันทึกผลการวัดค่าความเข้มข้นสารเคมีสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด

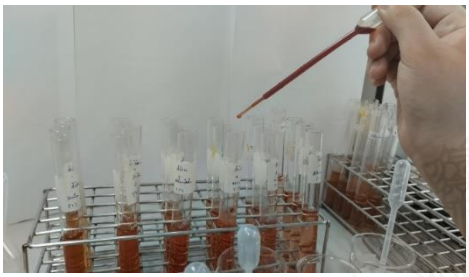
3) ค่อยๆ หยดสารสกัดสมุนไพร ในสารละลายสารเคมีสังเคราะห์ที่เจือจางแล้ว จนเกิดการเปลี่ยนแปลง (ภาพ 3.4)

4) นำสารเคมีสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยตั้งค่า Blank ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความยาวคลื่นตามชนิดของสารเคมีสังเคราะห์แต่ละชนิด เพื่อวัดค่า Peak สูงสุด ของสารเคมีสังเคราะห์ แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสี ที่เวลา 0, 5, 15 และ 30 นาที

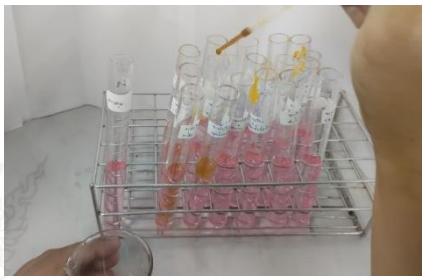
5) วิเคราะห์ค่าความเข้มสีด้วยเครื่องมือ RGB เพื่อวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีของสารเคมีสังเคราะห์



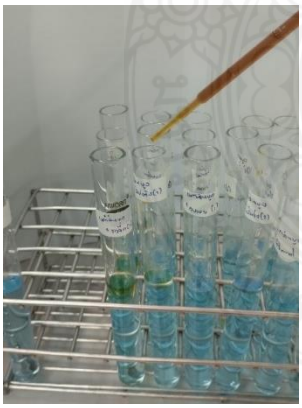
ภาพ 3.3 การวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้ง



ก) เตรียมสีย้อมชนิด C.I. Reactive Brown 18 ปริมาตร 10 mL



ข) เตรียมสาร Safranin ปริมาตร 10 mL



ค) เตรียมสาร Crystal Violet ปริมาตร 10 mL

ง) เตรียมสาร Methylene Blue ปริมาตร 10 mL

ภาพ 3.4 ขั้นตอนการลดสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำทิ้ง ด้วยสารสกัดสมุนไพร (สารเคมีสังเคราะห์ คือ ก) คือ C.I. Reactive Brown 18 ข) Safranin ค) Crystal Violet และ ง) Methylene Blue ตามลำดับ)

ข) การลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิว

1) เตรียมสารสะลายสารเคมีสังเคราะห์

1.1) C.I. Reactive Brown 18 เจือจาง 10^3 เท่า ปริมาตร 1.2 mL

1.2) สารสกัดสมุนไพร 4 สูตร

1.2.1) สูตร 1 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด, สารสกัดใบยูคาลิปตัส, สารสกัดเปลือกส้มโอ, และสารสกัดอบเชย ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ปริมาณ 4 mL

1.2.2) สูตร 2 ประกอบด้วย สารสกัดใบยูคาลิปตัส และสารสกัดอบเชย ในอัตราส่วนอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 4 mL

1.2.3) สูตร 3 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด และสารสกัดเปลือกส้มโอ ในอัตราส่วน 3:1 ปริมาตร 4.5 mL

1.2.4) สูตร 4 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด และสารสกัดอบเชย ในอัตราส่วน 3:1 ปริมาตร 4 mL

2) การทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิว

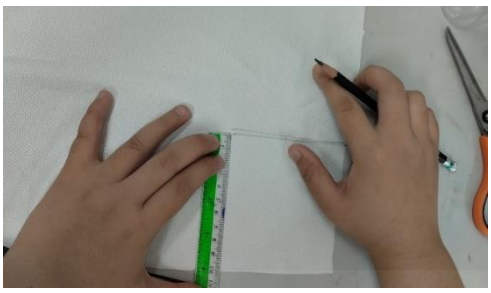
2.1) เตรียมผ้าขาว (ผ้าใยสังเคราะห์และผ้าฝ้าย (Cotton)) ขนาด 10 x 10 cm^2 จำนวน 12 ชิ้น (ภาพ 3.5ก.)

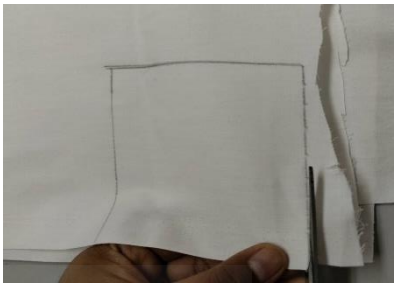
2.2) วางผ้าขาวบนบีกเกอร์แล้วรัดด้วยหนังยาง (ภาพ 3.5ข.)

2.3) หยดสารเคมีสังเคราะห์ที่เจือจาง ปริมาตร 0.05 mL บนผ้าขาวบาง ทิ้งไว้ 30 นาที ถึง 24 ชั่วโมง ก่อนหยดสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 สูตร (ภาพ 3.5ค.)

2.4) ค่อยๆ หยดสารสกัดสมุนไพรผสม 4 สูตร, น้ำกลั่น และ Ethanol ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 (v/v) ทีละหยดลงบนผ้าจนสังเกตเห็นสีบนผ้าเปลี่ยนแปลงจากเข้ม จางลง จนไม่มีสี (ภาพ 3.5ง.)

2.5) วิเคราะห์ค่าความเข้มสีด้วยเครื่องมือ RGB เมื่อครบเวลา 30 นาที (ภาพ 3.6 ก.) และ 24 ชั่วโมง (ภาพ 3.6ข.) แล้วถ่ายภาพพร้อมบันทึกผล

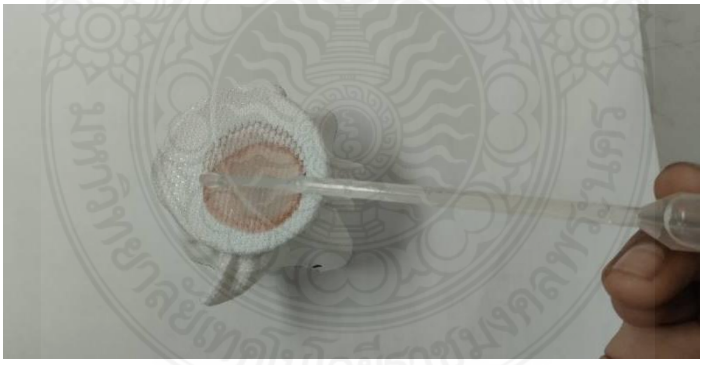




ก) วัดและตัดผ้าขาว (ผ้าใยสังเคราะห์และผ้าฝ้าย) ขนาด 10 x 10 cm^2

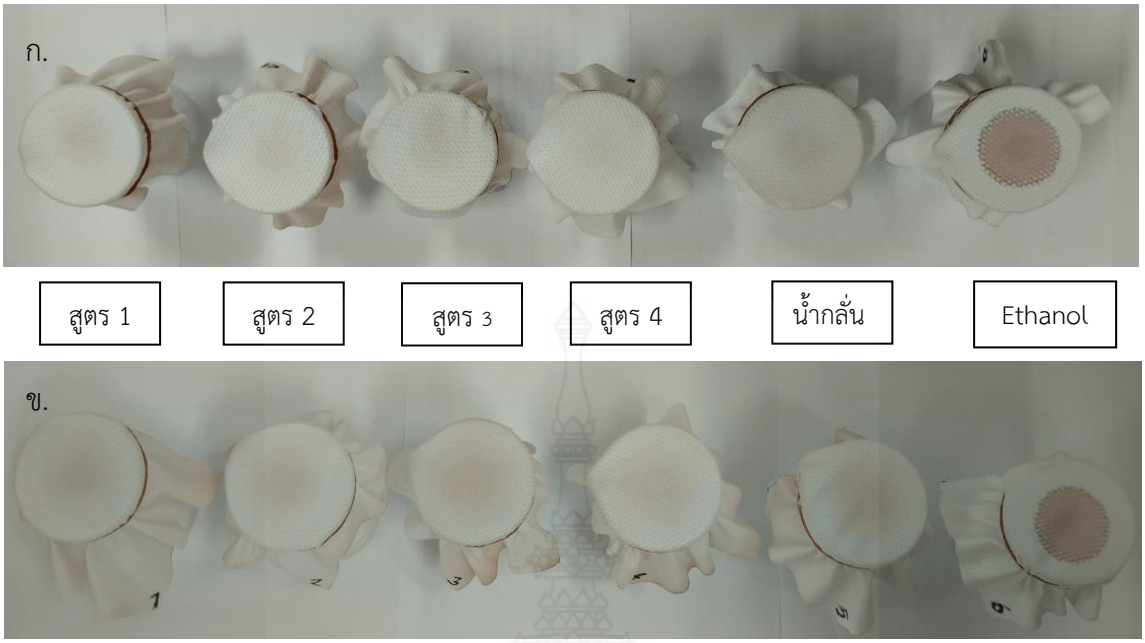
ข) รัดผ้าขาวบางกับบีกเกอร์ด้วยยางรัด

ค) หยดสาร C.I. Reactive Brown 18



ง) หยดสารสกัดสมุนไพรผสมบนผ้าที่ปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์

ภาพ 3.5 ขั้นตอนการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิว



ภาพ 3.6 ตัวอย่างผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าใยสังเคราะห์เป็นเวลานาน (ก) 30 นาที และ (ข) 24 ชั่วโมง

3.2.3 ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

ก) การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพร

1) เตรียมสารสะลายสารเคมีสังเคราะห์

1.1) เตรียม C.I. Reactive Brown 18 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า (ความเข้มข้น 0.001 ppm)

1.2) เตรียม Crystal Violet 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า (ความเข้มข้น 0.001 ppm)

1.3) เตรียม Safranin 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า (ความเข้มข้น 0.001 ppm)

1.4) เตรียม Methylene Blue 0.1 g ในน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL แล้วเจือจาง 10^3 เท่า (ความเข้มข้น 0.001 ppm)

2) ค่อยๆ หยดสารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการระเหยซึ่งมีระยะการเก็บรักษาสารสกัดสมุนไพรที่แตกต่างกัน ในสารละลายสารเคมีสังเคราะห์ที่เจือจาง ดังนี้

2.1) สารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการระเหยแล้ว เก็บรักษาในอุณหภูมิ 4°C ในระยะเวลา 3 เดือน

2.2) สารสกัดสมุนไพรที่ผ่านการระเหย เป็นระยะเวลา 1 วัน

3) นำสารเคมีสังเคราะห์ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยตั้งค่า Blank ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความยาวคลื่นตามชนิดของสารเคมีสังเคราะห์แต่ละชนิด เพื่อวัดค่า Peak สูงสุดของสารเคมีสังเคราะห์ แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสี ที่เวลา 0, 5, 15 และ 30 นาที

4) วิเคราะห์ค่าความเข้มสีด้วยเครื่องมือ RGB เพื่อวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีของสารเคมีสังเคราะห์

ข) การทดสอบอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

1) เตรียมสารสกัดสมุนไพรเข้มข้น 4 ชนิด

1.1) สารสกัดใบรางจืด 10 mL

1.2) สารสกัดใบยูคาลิปตัส 10 mL

1.3) สารสกัดเปลือกส้มโอ 10 mL

1.4) สารสกัดอบเชย 10 mL

2) เทสารสกัดสมุนไพรเข้มข้นแต่ละชนิด (ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย) ปริมาตร 5 mL ในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งในอุณหภูมิห้อง และตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 3 วัน

3) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดสมุนไพร

4) ถ่ายภาพและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดสมุนไพร

3.2.4 ความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่ม แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์

ก) การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่ม แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

1.1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียแบบเหลว (Luria Bertani Broth: LB) ประกอบด้วย ผง LB 3.75 g (ภาพ 3.7) และน้ำกลั่น 250 mL เติมอาหารเลี้ยงเชื้อลงหลอดทดลอง หลอดละ 5 mL ด้วยปิเปต ปิดปากหลอดทดลองด้วยสำลี แล้วนำไปทำการฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 15 นาที

ภาพ 3.7 ตัวอย่างการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว LB (Luria Bertani Broth)

1.2) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อราและยีสต์แบบเหลว (Potato Dextrose Broth: PDB) ประกอบด้วย น้ำมันฝรั่ง ปริมาตร 250 mL และ Glucose 5 g (ภาพ 3.8) เติมอาหารเลี้ยงเชื้อลงหลอดทดลองหลอดละ 5 mL ด้วยปิเปต ปิดปากหลอดทดลองด้วยสำลี แล้วนำไปอบฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 15 นาที

ภาพ 3.8 ตัวอย่างการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว PDB (Potato Dextrose Broth)

2) ชนิดจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลอง

กลุ่มจุลินทรีย์ท้องถิ่นบนผิวหนังและในร่างกาย มาจากตัวอย่างจุลินทรีย์ที่คัดแยกมาจากนมเปรี้ยว และชาหมัก (Kombucha) ประกอบด้วย กลุ่มแบคทีเรีย *Lactobacillus* spp., *Bacillus cereus,* เชื้อรา *Aspergillus niger* และยีสต์กลุ่ม *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งผ่านการเพาะเลี้ยงให้อยู่ในระยะการเจริญเติบโต Log phase เป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง และ 3 วัน สำหรับเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราและยีสต์ตามลำดับ เพื่อนำไปทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์ในขั้นตอนต่อไป

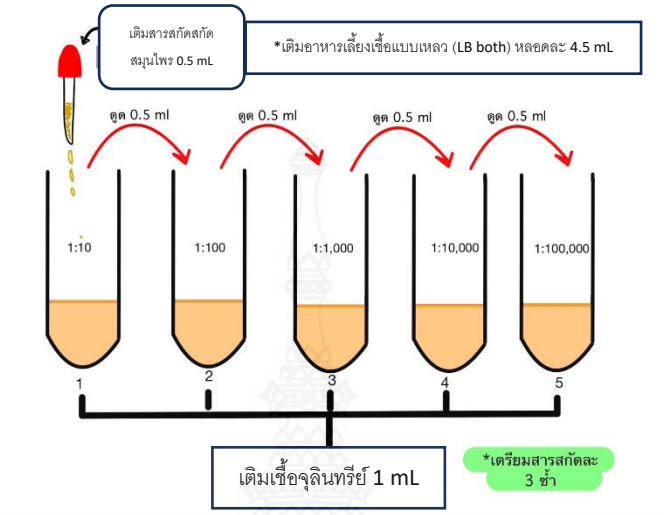
3) การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรต่อจุลินทรีย์กลุ่ม แบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์

3.1) ทำการเจือจางสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด ในหลอดที่ 1-5 มีอัตราส่วนคือ 1:10, 1:100, 1:1,000, 1:10,000 และ 1:100,000 ตามลำดับ โดยเป็นการเจือจางสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ แบบ Serial Dilution ดังแสดงในภาพ 3.9 มีขั้นตอนการทำดังนี้

(1). เติมสารสกัดสมุนไพรแต่ละชนิด ปริมาณ 0.5 mL ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อหลอดที่ 1 ที่มีปริมาณ 4.5 mL ที่ผ่านการทำการฆ่าเชื้อแล้ว ผสมสารให้เข้ากัน

(2). เติมสารละลายที่ผสมแล้วจากหลอดที่ 1 ปริมาณ 0.5 mL ใส่ลงในสารละลายในหลอดที่ 2 ที่มีปริมาณ 4.5 mL ผสมสารละลายให้เข้ากัน

(3). เติมสารละลายในหลอดที่ 2 ปริมาณ 0.5 ml ลงในสารละลายในหลอดที่ 3 ที่มีปริมาณ 4.5 mL ผสมสารให้เข้ากัน และทำซ้ำในหลอดที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



ภาพ 3.9 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารเหลว เพื่อศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร

3.2) เติมเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย เชื้อราหรือยีสต์ ปริมาณ 1 mL ลงในสารละลายทั้ง 5 หลอด (ภาพ 3.9) แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 1-2 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นของสารละลาย เทียบกับตัวควบคุม คือ อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

3.3) วัดความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว

(1) นำเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวที่มีความขุ่นมาก (ค่าการดูดกลืนของแสง (OD.) ที่ 600 nm มากกว่า 1.0) มาทำการเจือจางในน้ำกลั่น แล้ววัดการเจริญเติบโตด้วยการวัดความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 nm ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank

(2) สังเกตและบันทึกภาพลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Compound Light Microscope

3.2.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งาน

ก) เตรียมพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งาน

1) เตรียมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด แบบเข้มข้น เจือจางกับน้ำกลั่นปราศจากเชื้อในปริมาตร 400 mL ในอัตราส่วน 1:100 ดังนี้

1.1) สูตรที่ 1 อัตราส่วนการผสมสูตร 1:1:1:1 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด 1 mL, สารสกัดใบยูคาลิปตัส 1 mL, สารสกัดอบเชย 1 mL และ สารสกัดเปลือกส้มโอ 1 mL ผสมกับน้ำกลั่น 396 mL

1.2) สูตรที่ 2 อัตราส่วนการผสมสูตร 1:1 ประกอบด้วย สารสกัดใบยูคาลิปตัส 2 mL, และสารสกัดอบเชย 2 mL ผสมกับน้ำกลั่น 396 mL

1.3) สูตรที่ 3 อัตราส่วนการผสมสูตร 3:1 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด 3 mL และสารสกัดเปลือกส้มโอ 1 mL ผสมกับน้ำกลั่น 396 mL

2) เทสารสกัดสมุนไพรที่ผสมแล้วลงบรรจุในภาชนะบรรจุภัณฑ์ขนาด 400 mL เพื่อการนำไปใช้งาน

3) ติดฉลากบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ดังนี้ วันผลิต, วิธีการใช้งาน, วิธีการเก็บรักษา

ภาพ 3.10 สารสกัดสมุนไพรเข้มข้น 4 ชนิด (ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย ตามลำดับ) ก่อนการนำผสมเป็นผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง

ภาพ 3.11 ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อการลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง ในรูปแบบพร้อมใช้งาน จำนวน 4 สูตร

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัสศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพรศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา และพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์มีการศึกษาแบ่งเป็นหัวข้อได้ ดังนี้

4.1 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำ

4.2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

4.4 ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา

4.5 พัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์

4.1 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำ

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสีสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำจากการลดการปนเปื้อนด้วยสารสกัดสมุนไพร

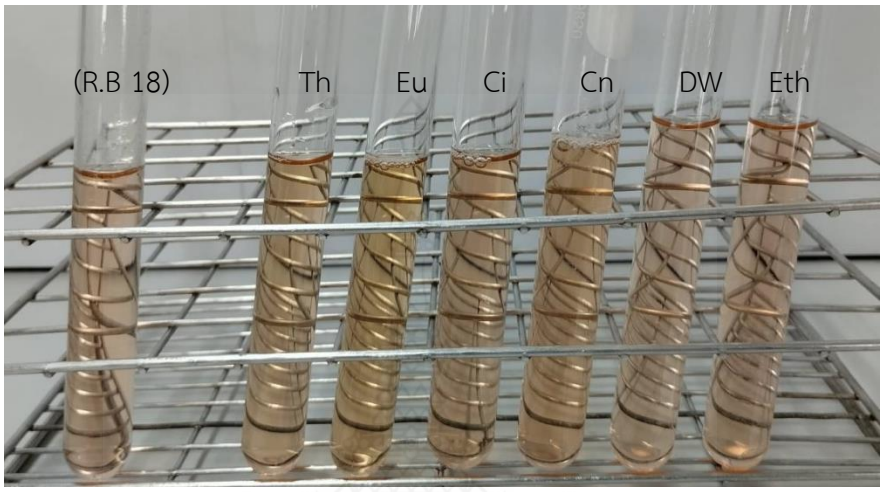
สารเคมีสังเคราะห์ที่นำมาศึกษามี 4 ชนิด คือ C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet , Methylene Blue และ Safranin ซึ่งเป็นกลุ่มสีย้อมให้สีน้ำตาล, ม่วง, ฟ้า และสีชมพู ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 ppm เมื่อทำการหยดสารสกัดสมุนไพรเข้มข้น 4 ชนิด คือ ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส,เปลือกส้มโอ และอบเชย ปริมาตร 0.8 mL และสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงภายใน 30 นาที

พบว่าสีของสารละลายสารเคมีสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

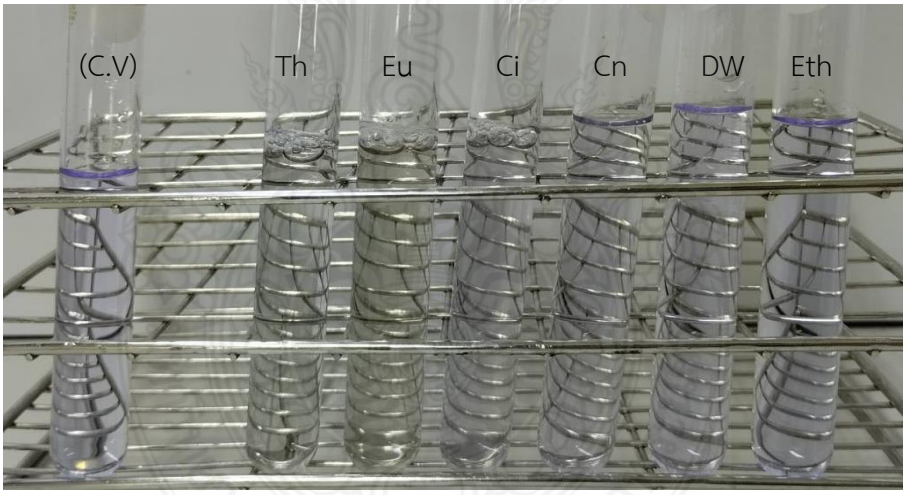
สี C.I. Reactive Brown 18 มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น (ภาพ 4.1ก) สี Crystal Violet มีสีม่วงจางหายเป็นไม่มีสี (ภาพ 4.1ข) Methylene Blue เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียว (ภาพ 4.2ค.) และสี Safranin เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีส้ม (ภาพ 4.1ง) ตามลำดับ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด มีความสามารถในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำได้ดี โดยสี Methylene Blue มีการเปลี่ยนแปลงไวที่สุด คือเปลี่ยนเป็นสีเขียวได้ในเวลา 5 นาที ในขณะที่สี C.I. Reactive Brown 18 มีการเปลี่ยนแปลงของสีช้า แม้ทิ้งไว้นาน 30 นาที ยังคงมี

การเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทว่าการสังเกตสีด้วยตาเปล่ายังคงมีข้อจำกัดในการจำแนกประสิทธิภาพการลดลงของสีอยู่ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดค่าที่แสดงค่าชัดเจนขึ้นในหัวข้อต่อไป

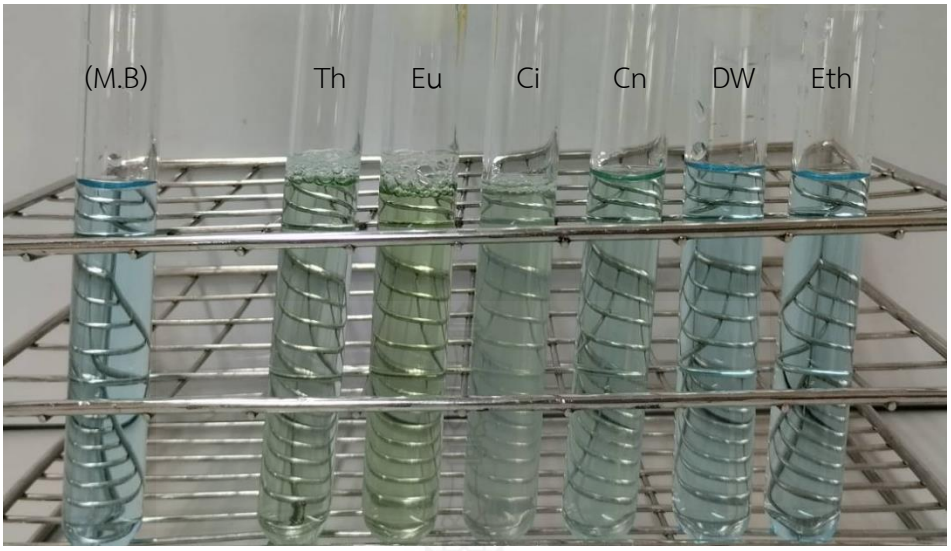


ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดสมุนไพร (Th Eu Ci หรือ Cn)

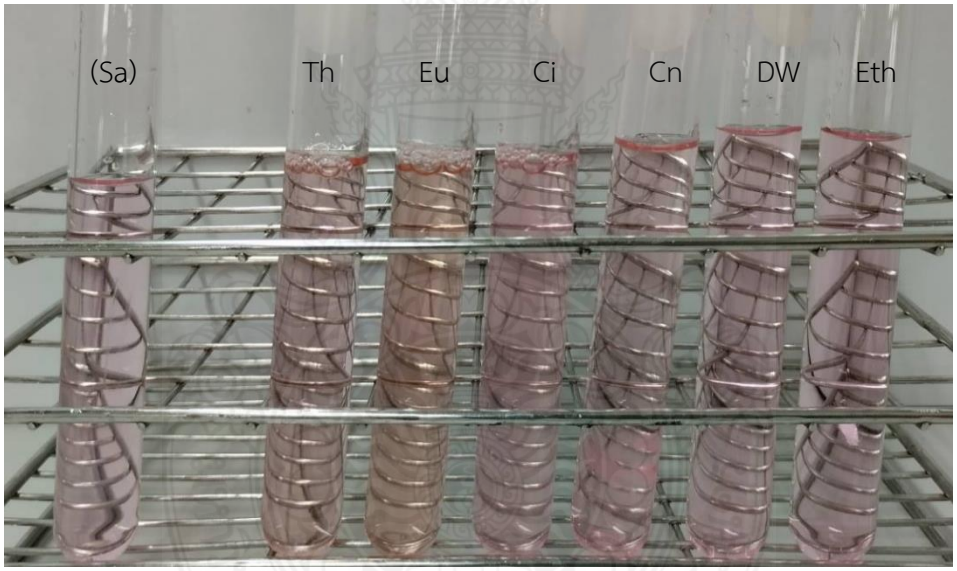


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดสมุนไพร (Th Eu Ci หรือ Cn)

ภาพ 4.1 การเปรียบเทียบสีของสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำทิ้ง
จาก ก) C.I. Reactive Brown 18 ข) Crystal Violet ค) Methylene Blue และ ง) Safranin
ที่ใช้สารสกัดสมุนไพร คือ ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Ci), อบเชย (Cn) และตัวควบคุม
คือ H_2O (DW) และ Ethanol (Eth)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดสมุนไพร (Th Eu Ci หรือ Cn)



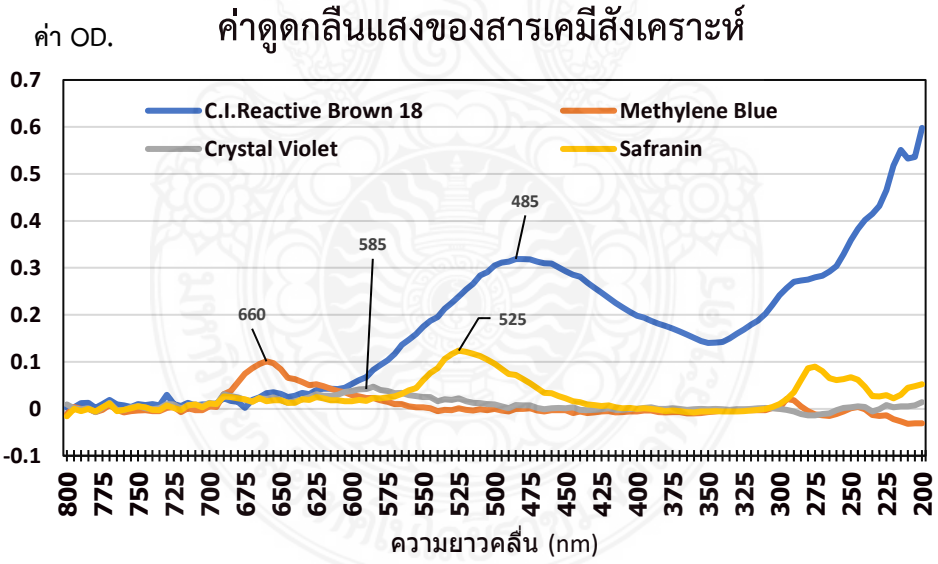
ง) Safranin (Sa) + สารสกัดสมุนไพร (Th Eu Ci หรือ Cn)

ภาพ 4.1 การเปรียบเทียบสีของสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำทิ้ง จาก ก) C.I. Reactive Brown 18 ข) Crystal Violet ค) Methylene Blue และ ง) Safranin ที่ใช้สารสกัดสมุนไพร คือ ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Ci), อบเชย (Cn) และตัวควบคุม คือ H_2O (DW) และ Ethanol (Eth) (ต่อ)

4.1.2 ความสามารถในการใช้สารสกัดสมุนไพรลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ

1) การหาค่าความยาวคลื่นของสารสกัดสมุนไพร แสดงความสามารถในการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ

เนื่องจากสารเคมีสังเคราะห์เป็นสีย้อม การหาประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนจะใช้การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่นที่ 190-800 nm ซึ่งเป็นช่วงที่รวมทั้งช่วง UV และช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible) บ่งบอกค่าสีของสารเคมีสังเคราะห์ ด้วยการเลือกค่าตำแหน่งของความยาวคลื่นที่สารเคมีสังเคราะห์แต่ละชนิด ทั้ง 4 ชนิดมีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด จากกราฟแสดงในภาพ 4.2 แสดงค่า peak สูงสุดของการดูดกลืนของแสงของแต่ละชนิดของสารเคมีสังเคราะห์ มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่แตกต่างกัน ดังนี้ คือ สี C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin มีค่าความยาวคลื่นเป็น 485, 585, 660 และ 525 nm ตามลำดับ และพบว่า เมื่อมีสารเคมีสังเคราะห์ดังกล่าวถูกกำจัดหรือถูกทำลายไปจะแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารเคมีสังเคราะห์ที่ตำแหน่งนั้น ๆ ลดลง หรือเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเปลี่ยนตำแหน่งไป ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งความยาวคลื่นที่สูงสุดทั้งก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยการเติมสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด จะถูกนำมาบ่งบอกประสิทธิภาพของการทำงานของสารสกัดสมุนไพรในการศึกษานี้



ภาพ 4.2 ค่าความยาวคลื่นของสารเคมีสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด คือ C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) ,Crystal Violet (C.V), Methylene Blue (M.B) และ Safranin (Sa) ที่ใช้ในการวัดค่าดูดกลืนแสง

2) ความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ

เพื่อการศึกษาความสามารถในการลดการเปื้อนในน้ำ จากการวัดค่าการดูดคลื่นแสง (OD.) สารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทั้งก่อนและหลังใส่สารสกัดสมุนไพร (จากการศึกษาในหัวข้อ 1) C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet , Methylene Blue และ Safranin ให้ค่า 485, 585, 660 และ 525 nm ตามลำดับ) ผลการทดลองสามารถแสดงดังกราฟในภาพ 4.3-4.6 ค่า OD ก่อนและหลังจากการใส่สารสกัดสมุนไพร เมื่อถูกคำนวณคิดเป็นร้อยละของความสามารถในการลดสารเคมีสังเคราะห์ของสารสกัดสมุนไพร สามารถแสดงผลดังตารางที่ 4.1 โดยเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้

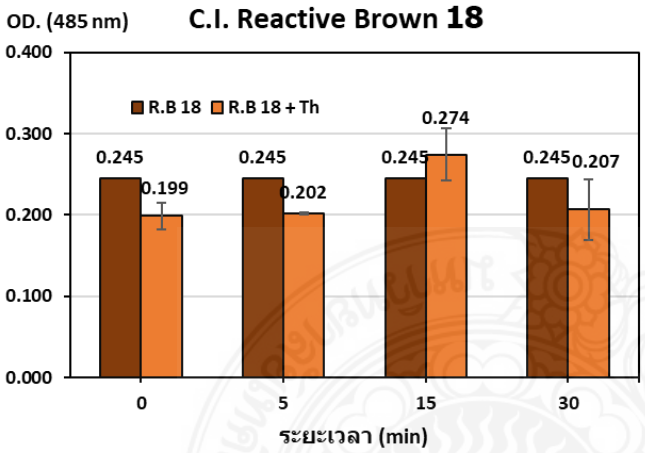
1. สารสกัดใบรางจืด สามารถลดสารเคมีสังเคราะห์ชนิด
   Crystal Violet > Safranin > Methylene Blue > C.I. Reactive Brown 18
   คิดเป็นร้อยละ คือ 29.4 > 19.6 > 14.2 > 8.9 ตามลำดับ
2. สารสกัดยูคาลิปตัส สามารถลดสารเคมีสังเคราะห์ชนิด
   Methylene Blue > Crystal Violet > Safranin > C.I. Reactive Brown 18
   คิดเป็นร้อยละ คือ 70.5 > 11.4 > 10.6 > 10.3 ตามลำดับ
3. สารสกัดเปลือกส้มโอ สามารถลดสารเคมีสังเคราะห์ชนิด
   Methylene Blue > Crystal Violet > C.I. Reactive Brown 18 > Safranin
   คิดเป็นร้อยละ คือ 54.6 > 36 > 23.7 > 12.6 ตามลำดับ
4. สารสกัดอบเชยสามารถลดสารเคมีสังเคราะห์ชนิด
   Safranin > Methylene Blue > Crystal Violet > C.I. Reactive Brown 18
   คิดเป็นร้อยละ คือ 50.8 > 38.7 > 25.1 > 1.3 ตามลำดับ

การเพิ่มความสามารถในการลดสารเคมีสังเคราะห์

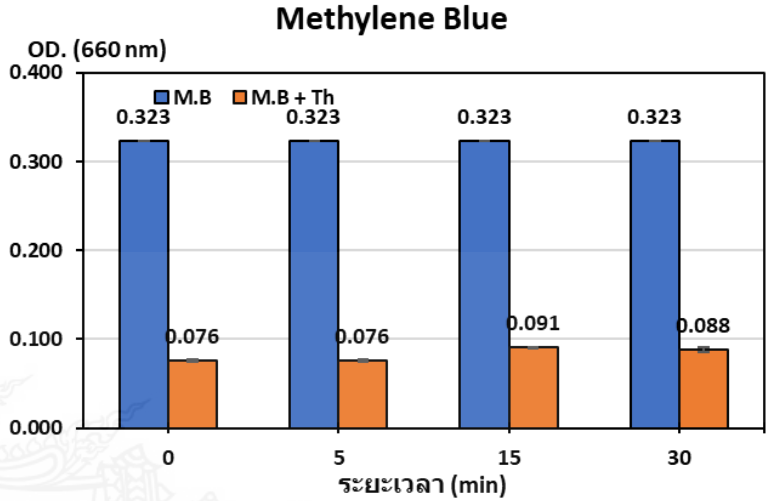
ในการศึกษาเพื่อการนำไปใช้ที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้สามารถลดสารเคมีสังเคราะห์จำเป็นต้องใช้สารสกัดสมุนไพรมากกว่า 1 ชนิด เนื่องด้วยสารสกัดสมุนไพรเพียงชนิดเดียว มีประสิทธิภาพ ในการลดสารเคมีสังเคราะห์ได้ไม่เกินร้อยละ 50 จากการทดสอบเมื่อเติมสูตรสารสกัดสมุนไพรผสมที่มีมากกว่าหนึ่งชนิด พบว่าสามารถช่วยลดค่า OD ของสารเคมีสังเคราะห์ แสดงดังกราฟภาพภาคผนวก ก.2 โดยเฉพาะเมื่อใช้สารสกัดสมุนไพรผสมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ใน สูตร 1 (F1) ประกอบด้วยสารสกัดสมุนไพรทั้งสี่ชนิดในอัตราส่วนที่เท่ากัน สามารถลดความเข้มข้นของสารเคมีสังเคราะห์ทั้งสีชนิด คือ Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin ได้มากกว่า ร้อยละ 50

ตารางที่ 4.1 ร้อยละความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้ง

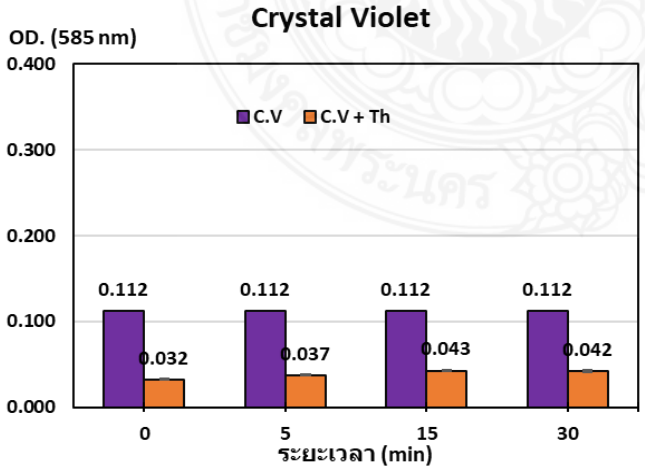
สารสกัดสมุนไพร / สารเคมีสังเคราะห์	ร้อยละความสามารถในการลดสารเคมีสังเคราะห์ของสารสกัดสมุนไพร			
	สารสกัดใบรางจืด	สารสกัดใบยูคาลิปตัส	สารสกัดเปลือกส้มโอ	สารสกัดอบเชย
1. C.I. Reactive Brown 18	8.9	10.3	23.7	1.3
2. Crystal Violet	29.4	11.4	36	25.1
3. Methylene Blue	14.2	70.5	54.6	38.7
4. Safranin	19.6	10.6	12.6	50.8



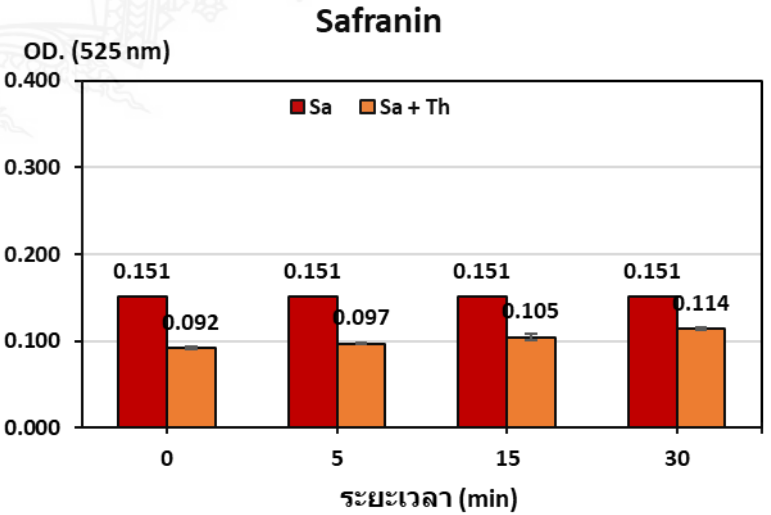
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบรางจืด (Th)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดใบรางจืด ((Th)

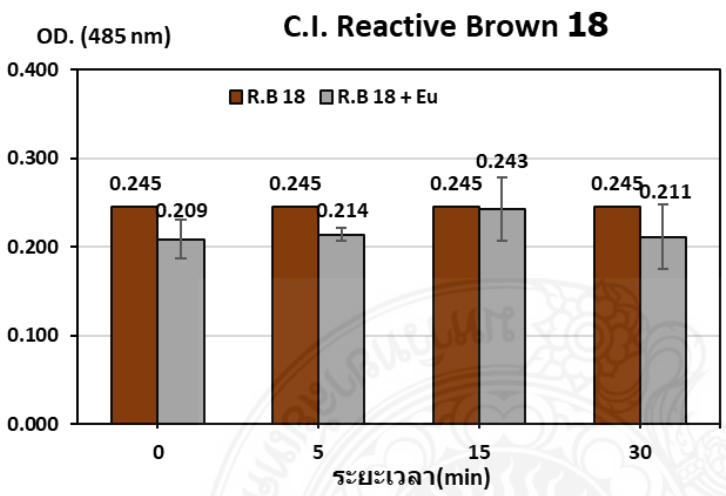


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

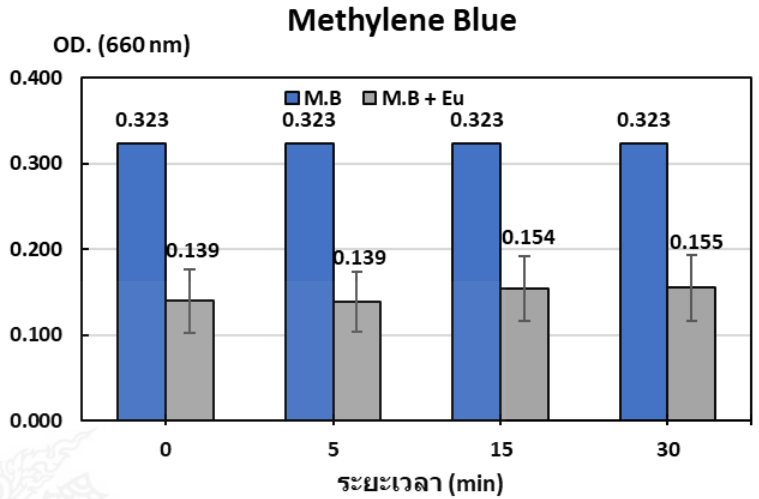


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

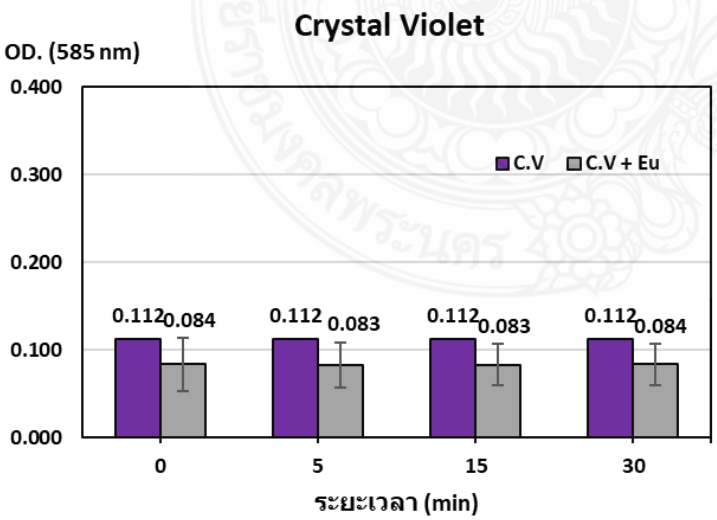
ภาพ 4.3 ความสามารถของสารสกัดใบรางจืดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดในน้ำ



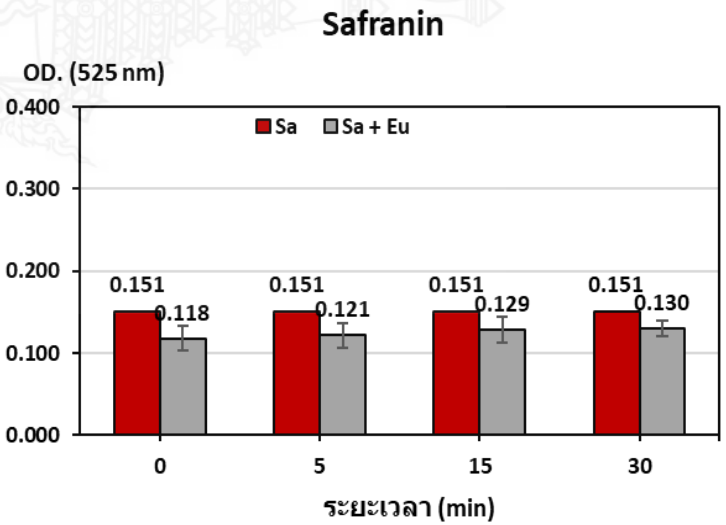
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

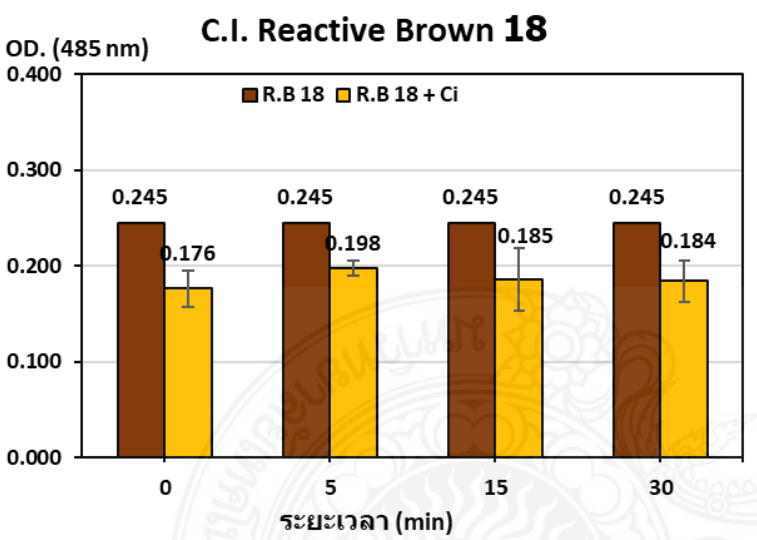


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

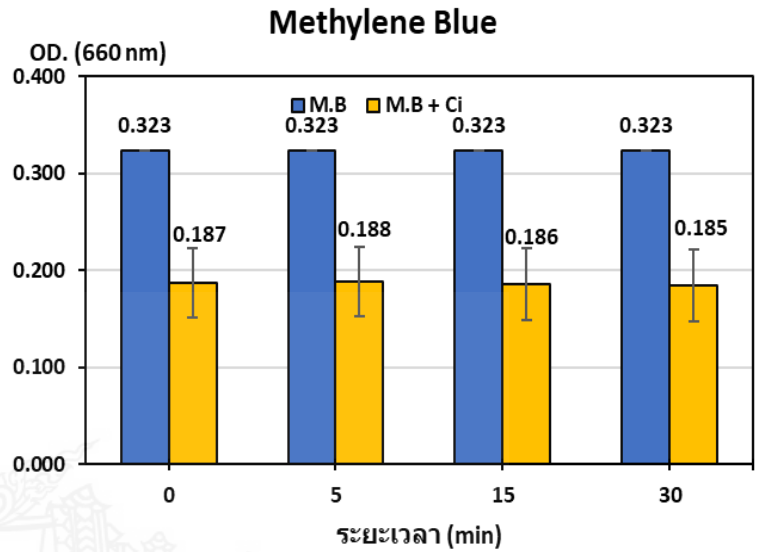


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

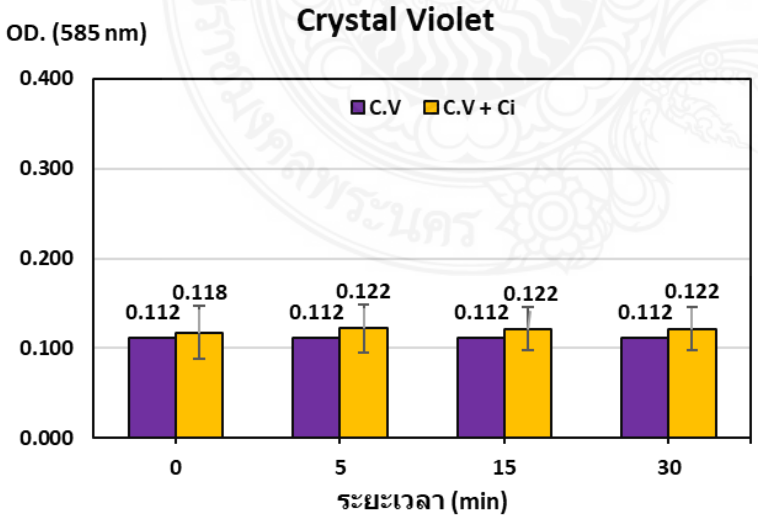
ภาพ 4.4 ความสามารถของสารสกัดใบยูคาลิปตัสในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดในน้ำ



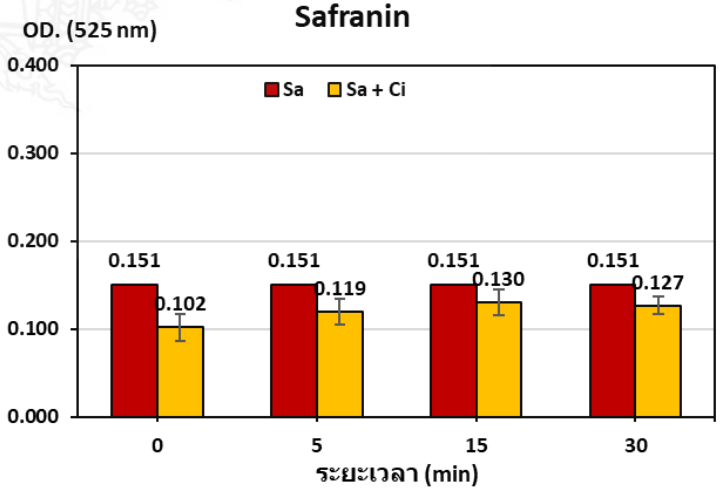
ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

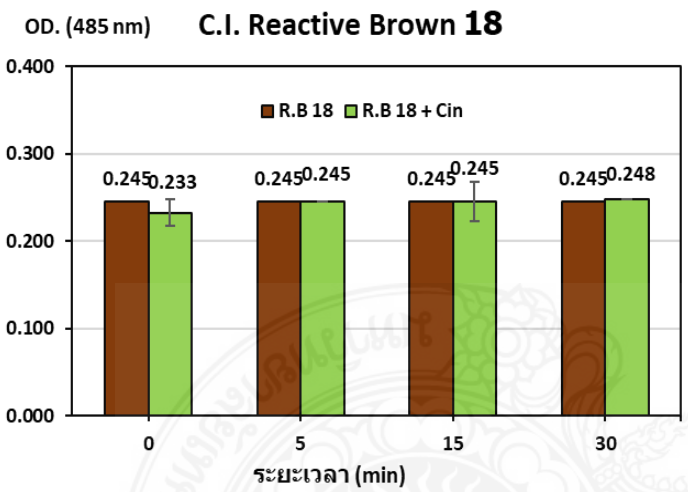


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

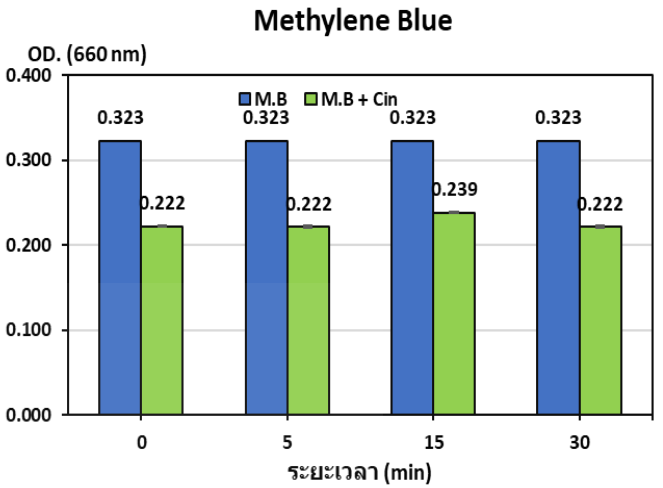


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

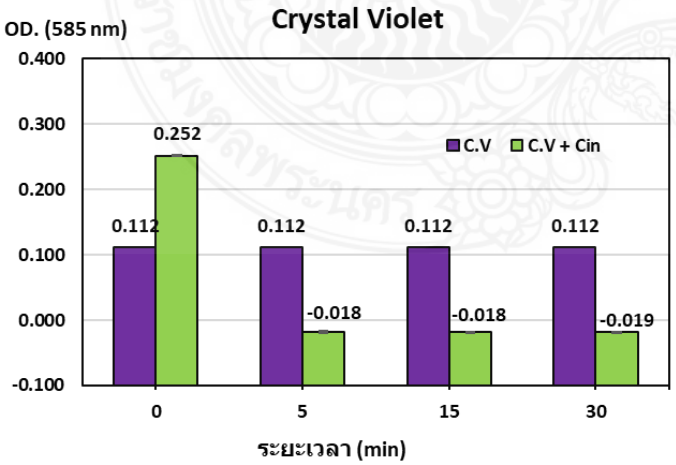
ภาพ 4.5 ความสามารถของสารสกัดเปลือกส้มโอในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดในน้ำ



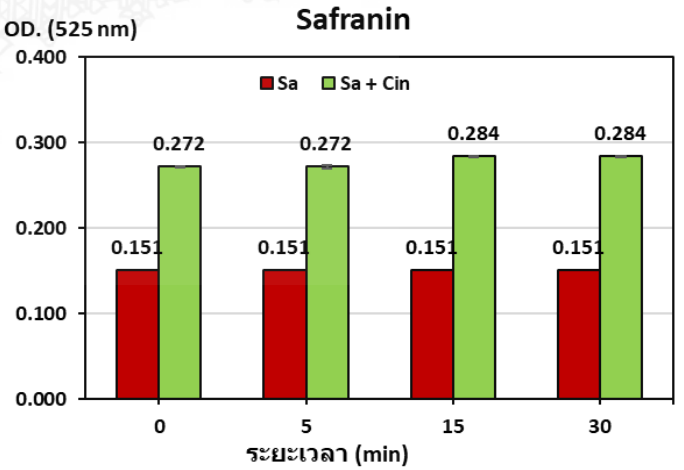
ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดอบเชย (Cn)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดอบเชย (Cn)



ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดอบเชย (Cn)



ง) Safranin (Sa) + สารสกัดอบเชย (Cn)

ภาพ 4.6 ความสามารถของสารสกัดอบเชยในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดในน้ำ

4.2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส

ในการทดสอบความสามารถในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส ด้วยสูตรสารสกัดสมุนไพรผสมตั้งแต่ 2 ชนิด พบว่าสูตรสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 สูตร สามารถลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ทั้งสี่ชนิดได้ (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.2) สูตรสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 สูตรทำให้สารเคมีสังเคราะห์ทั้งสี่ชนิดสีจางลงจากการสังเกตด้วยตาเปล่า ทั้งนี้พื้นผิวที่ใช้ศึกษาเป็นผ้าชนิดที่แตกต่างกัน ให้ผลที่แตกต่างกัน เมื่อหยดสี C.I Reactive Brown 18 ที่ความเข้มข้น 0.001 ppm ปริมาณ 0.05 mL บนผ้า 2 ชนิด คือ 1) ผ้าใยสังเคราะห์ และ 2) ผ้าฝ้าย ในสภาวะการเก็บที่ (1) อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที หรือ (2) อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการกำจัดด้วยสารสกัดสมุนไพร สารสกัดสมุนไพรสูตรที่ใช้ศึกษา คือ สูตร 1- 4 ดังแสดงผลการทดสอลดังภาพ 4.7-4.8 มีผลการอธิบาย ดังนี้

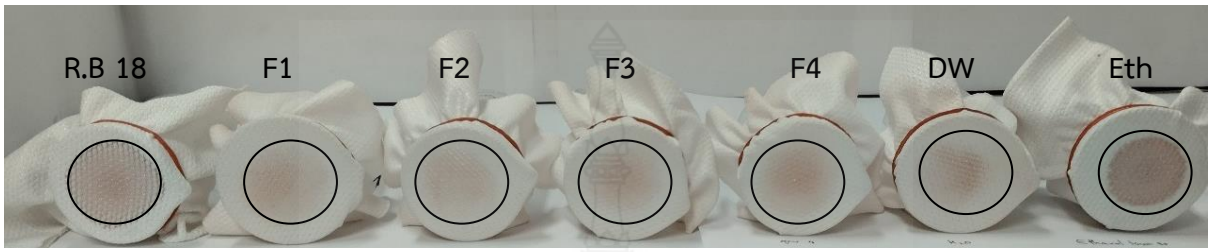
4.2.1. บนผ้าใยสังเคราะห์ กับการลดการปนเปื้อนของสี C.I Reactive Brown 18

- สารสกัดสมุนไพรสูตร 1-4 ทำให้ผ้าใยสังเคราะห์มีสีน้ำตาลจางลง หากผ้าที่มีสารเคมีสังเคราะห์นี้ทิ้งไว้ไม่เกิน 30 นาที แต่แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือแสดงถึงไม่มีประสิทธิภาพ หากตัวอย่างบนผ้าใยสังเคราะห์ถูกทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงแล้วหยดสูตรสารสกัด ชนิด สูตร 2 และ3 (ภาพ 4.7ก) แต่ สูตร 1 และ4 (ภาพ 4.7ข) สามารถลดสีบนผ้าได้เล็กน้อย ผลดังกล่าวนี้ บ่งบอกถึง ระยะเวลาที่สารเคมีสังเคราะห์เกาะติดผ้ามีผลต่อการกำจัด หากทิ้งระยะการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์บนผ้าไว้เป็นเวลานาน เช่น 24 ชั่วโมง จะทำให้ยากต่อการกำจัด

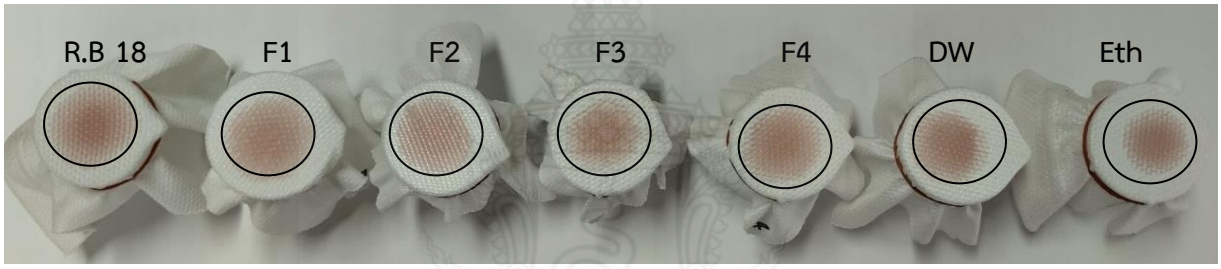
4.2.2. บนผ้าฝ้าย กับการลดการปนเปื้อนของสี C.I Reactive Brown 18

- แม้ว่าสารเคมีสังเคราะห์ปนเปื้อนบนผ้าเป็นเวลานาน 30 นาที สารสกัดสมุนไพรสูตร 1-4 ไม่สามารถทำให้สี C.I Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าฝ้ายจางลง พบว่าสีจางลงเล็กน้อย (สีเข้มกว่าที่พบบนผ้าใยสังเคราะห์) บ่งบอกถึง ชนิดผ้าฝ้ายทำให้สีเกาะติดแน่นกำจัดได้ยากกว่าใยสังเคราะห์ ทั้งนี้ (ภาพ 4.8ก)
- สารสกัดสมุนไพรสูตร 1-4 ไม่สามารถกำจัดสีบนผ้าฝ้ายเมื่อทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง (ภาพ 4.8 ข)
- สารสกัดสมุนไพรสูตร 3 เหมาะสมในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างได้ดีที่สุด แต่ไม่เกินร้อยละ 50 (เนื่องจากผ้าใยสังเคราะห์ไม่ดูดซับสีและมีลักษณะผ้าที่โปร่งไม่อุ้มน้ำ) และร้อยละ 30 สำหรับบนผ้าฝ้าย อาจเนื่องจากเส้นใยผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติดูดซับสีได้ดี ทำให้กำจัดสีได้ยากเมื่อสีเกาะผ้านานมากขึ้น

จากการศึกษาดังกล่าวนี้ บ่งบอกถึงปัจจัยของชนิดพื้นผิวและระยะเวลาของการปนเปื้อนสีสารเคมีสังเคราะห์ มีผลต่อความสามารถในการกำจัด โดยสารสกัดสมุนไพรสูตร 3 เหมาะสมในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์บนผ้าใยสังเคราะห์ให้ผลการทดสอบดีที่สุด

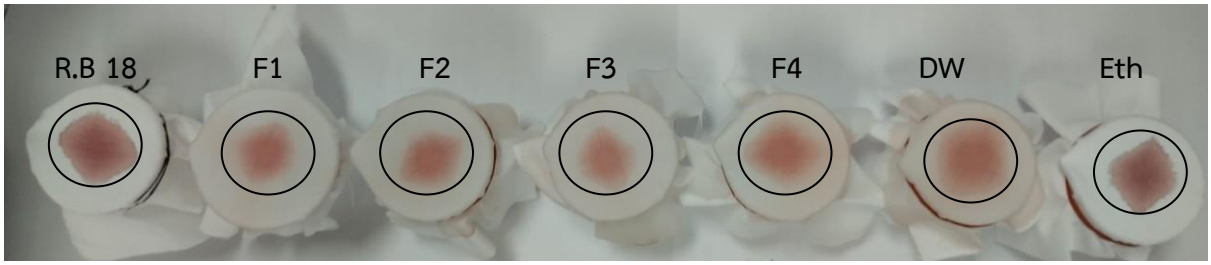


ก) เวลา 30 นาที

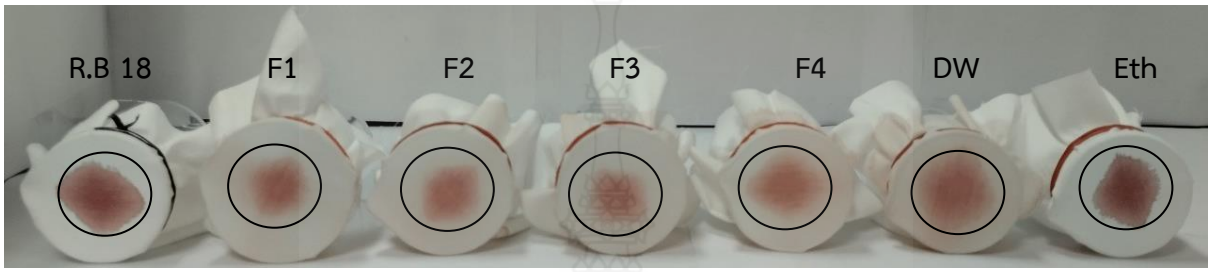


ข) เวลา 24 hr

ภาพ 4.7 ผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าใยสังเคราะห์
ตัวอย่างสูตรสารสกัดสมุนไพร คือ (F1) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 1
(F2) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 2
(F3) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 3
(F4) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 4
ตัวควบคุม คือ (DW) C.I. Reactive Brown 18 + น้ำกลั่น
(Eth) C.I. Reactive Brown 18 + Ethanol (ต่อ)



ก) เวลา 30 นาที



ข) เวลา 24 hr

ภาพ 4.8 ผลการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนผ้าฝ้าย

ตัวอย่างสูตรสารสกัดสมุนไพร คือ (F1) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 1

(F2) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 2

(F3) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 3

(F4) C.I. Reactive Brown 18 + สูตร 4

ตัวควบคุม คือ (DW) C.I. Reactive Brown 18 + น้ำกลั่น

(Eth) C.I. Reactive Brown 18 + Ethanol (ต่อ)

การวิเคราะห์ค่าการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์จากค่าของสี

จากการศึกษาคุณสมบัติในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์บนผ้า เพื่อการวัดค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไป ทีมผู้วิจัยใช้ค่าสีชนิด CELAB (Lab*) ซึ่งเป็นระบบจัดสีที่ช่วยในการวัดและอธิบายสีอย่างมีความเท่าเทียมและเป็นไปตามการรับรู้ของมนุษย์ (Aballtechno, 2566) ด้วยค่าสี Lab* มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ L" แทนความสว่างของสี, a* แทนตำแหน่งของสีบนแกนเขียว-แดง (a* บวกคือสีแดง, a* ลบคือสีเขียว) และ b* แทนตำแหน่งของสีบนแกนฟ้า-เหลือง (d* บวกคือสีเหลือง, b* ลบคือสีฟ้า) ระบบ Lab* สามารถช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสีและการสดลงของสีด้วยค่าของความสว่างที่มากขึ้นได้ ผลการทดสอบ มีดังนี้
ในการวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ Lab* ที่แปรผัน เพื่อใช้ยืนยันผลของความสามารถของสูตรสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ พบว่าขึ้นอยู่กับชนิดของสูตรและระยะเวลาที่ใช้ โดยสามารถใช้ลักษณะของสีและความสว่างของสีมาบ่งบอกประสิทธิภาพการทำงานได้

จากผลของตาราง 4.2 แสดงค่า Lab* ของสภาวะที่มีการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ชนิด C.I. Reactive Brown 18 บนผ้าใยสังเคราะห์ที่ดีที่สุดในเวลา 30 นาที ให้ค่า Lab* ด้วยค่าความสว่าง L* เพิ่มขึ้นจาก 45 ถึง 60 ค่าของ a ลดลงจาก 30 ถึง 0.5 และ ค่าของ b มีค่าไม่แตกต่างอยู่ในช่วง 5.6-7.3 แต่หากตัวอย่างผ้าที่ปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์นี้เก็บไว้นานถึง 24 ชั่วโมง พบว่าค่าของ Lab* ทั้งหมดไม่แตกต่างระหว่างก่อนและหลังการลดการปนเปื้อนด้วยสารสกัดสมุนไพรทั้งสี่สูตร ซึ่งการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าวิธีการวัดค่า Lab* ช่วยบ่งบอกความสามารถในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์บนผ้าได้ชัดเจนและละเอียดมากกว่าการสังเกตด้วยสายตา สามารถบ่งบอกการปนเปื้อนการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ชนิด C.I Reactive Brown 18 ได้ดีและเหมาะในการใช้เพ่อช่วยยืนยันผลของความสามารถของสูตรสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มสีการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว ก.ผ้าใยสังเคราะห์ และ ข.ผ้าฝ้าย

ก.ผ้าใยสังเคราะห์

สารที่ใช้ทดสอบ	ความสามารถในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส		สีที่ได้
	ผลการทดสอบ	ค่าความเข้มสี (L*a*b)	
ระยะเวลาการทดสอบ 30 นาที			
R.B 18	สีน้ำตาลอ่อน (+4)	54.650/ 4.682/ 6.494	
F 1	+4 -> +3	60.172/ 2.256/ 7.342	
F 2	+4 -> +2	60.815/ 0.545/ 5.774	
F 3	+4 -> +2	50.973/ 2.502/ 6.585	
F 4	+4 -> +3	51.255/ 3.600/ 7.652	
DW	+4 -> +3	54.806/ 2.516/ 6.613	
Eth	ไม่เปลี่ยนแปลง	45.855/ 32.830/ 5.632	
ระยะเวลาการทดสอบ 24 ชั่วโมง			
R.B 18	น้ำตาลเข้ม (+5)	53.876/ -3.026/ 19.972	
F 1	+5 -> +3	53.876/ -3.01/ 19.972	
F 2	+5 -> +2	57.709/ 6.771/ 11.469	
F 3	+5 -> ++++	68.649/ 6.471/ 9.231	
F 4	+5 -> +++++	47.939/ 7.145/ 11.952	
DW	ไม่เปลี่ยนแปลง	47.575/ 8.490/ 13.002	
Eth	ไม่เปลี่ยนแปลง	47.345/ 6.723/ 8.416	

หมายเหตุ เครื่องหมาย + บ่งบอกถึงระดับการจางลงของสีในรูปแบบร้อยละ

+5 คือ ไม่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ 0)

+4 คือ การจางลงสีระดับ 1 (ร้อยละ 20)

+3 คือ การจางลงสีระดับ 2 (ร้อยละ 40)

+2 คือ การจางลงสีระดับ 3 (ร้อยละ 60)

+1 คือ การจางลงสีระดับ 4 (ร้อยละ 80)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มสีการทดสอบการลดสารเคมีสังเคราะห์ C.I. Reactive Brown 18 ที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว ก.ผ้าใยสังเคราะห์ และ ข.ผ้าฝ้าย (ต่อ)

ข.ผ้าฝ้าย

สารที่ใช้ทดสอบ	ความสามารถในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างบนพื้นผิวสัมผัส		สีที่ได้
	ผลการทดสอบ	ค่าความเข้มสี (L*a*b)	
	ระยะเวลาการทดสอบ 30 นาที		
R.B 18	น้ำตาลเข้ม (+5)	32.719/ 17.043/ 11.227	
F 1	+5 -> +4	43.791/ 15.214/ 13.272	
F 2	+5 -> +4	44.665/ 15.297/ 14.773	
F 3	+5 -> +4	45.483/ 14.231/ 13.703	
F 4	+5 -> +4	41.215/ 16.985/ 16.251	
DW	ไม่เปลี่ยนแปลง	40.423/ 15.010/ 14.322	
Eth	ไม่เปลี่ยนแปลง	28.859/ 15.069/ 11.419	
	ระยะเวลาการทดสอบ 24 ชั่วโมง		
R.B 18	น้ำตาลเข้ม (+5)	31.689/ 16.588/ 12.597	
F 1	+5 -> +3	44.586/ 15.150/ 13.206	
F 2	+5 -> +4	43.475/ 15.399/ 14.846	
F 3	+5 -> +3	43.894/ 14.357/ 13.835	
F 4	ไม่เปลี่ยนแปลง	40.717/ 18.782/ 17.711	
DW	ไม่เปลี่ยนแปลง	40.423/ 15.010/ 14.322	
Eth	ไม่เปลี่ยนแปลง	27.557/ 14.062/ 10.955	

หมายเหตุ เครื่องหมาย + บ่งบอกถึงระดับการจางลงของสีในรูปแบบร้อยละ

+5 คือ ไม่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ 0)

+4 คือ การจางลงสีระดับ 1 (ร้อยละ 20)

+3 คือ การจางลงสีระดับ 2 (ร้อยละ 40)

+2 คือ การจางลงสีระดับ 3 (ร้อยละ 60)

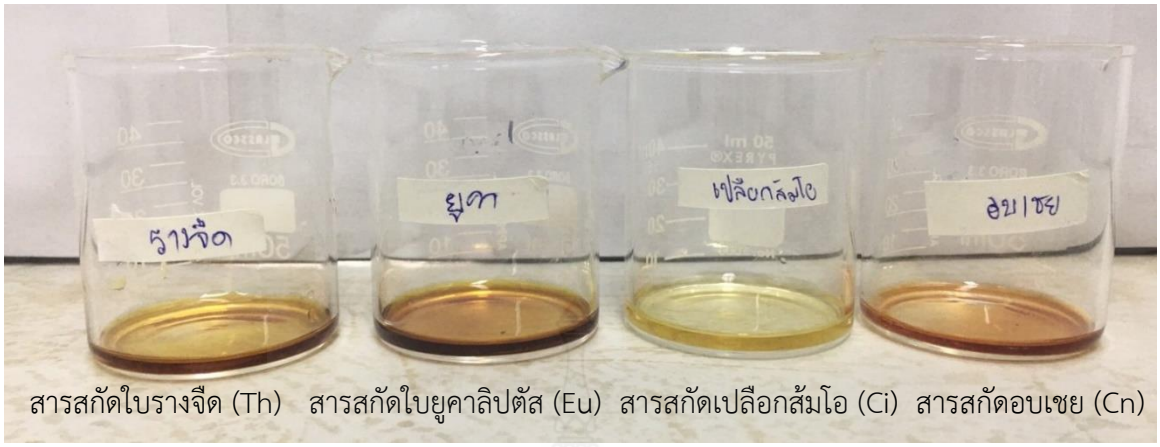
+1 คือ การจางลงสีระดับ 4 (ร้อยละ 80)

4.3 ศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร

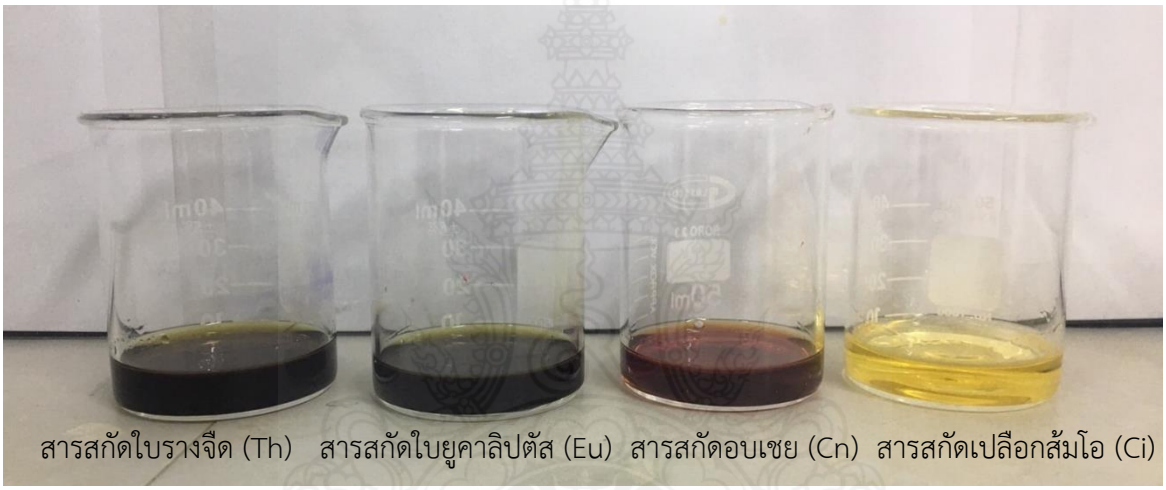
ในการศึกษาอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร พบว่าสูตรสารสกัดสมุนไพรที่ถูกวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 3 เดือน ยังสามารถมีความสามารถในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ แต่ลดลง โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 อายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร (ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส หรือเปลือกส้มโอ)

- สารสกัดสมุนไพรทั้งสี่ชนิดได้ถูกเก็บไว้นาน 3 เดือน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำลดลง จากการทดสอบกับสารเคมีสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด (C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดสมุนไพร ซึ่งประกอบด้วย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอื่นทางกายภาพด้วยสายตา ประกอบด้วย สี กลิ่นและความเข้มของสารสกัดสมุนไพร (ตัวอย่างสารสกัดใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส หรือเปลือกส้มโอ แสดงในภาพ 4.9) แต่เริ่มมีการตกตะกอนเล็กน้อยเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40X (ภาพ 4.10) แต่ไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



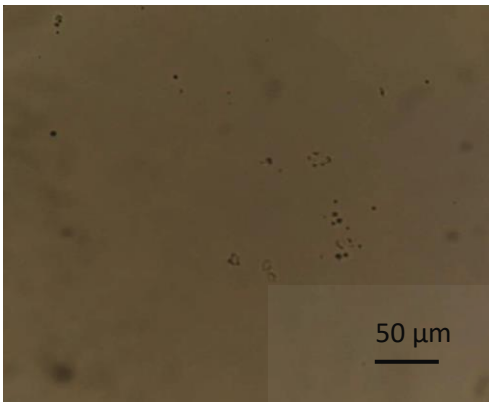
ก) 1 อาทิตย์



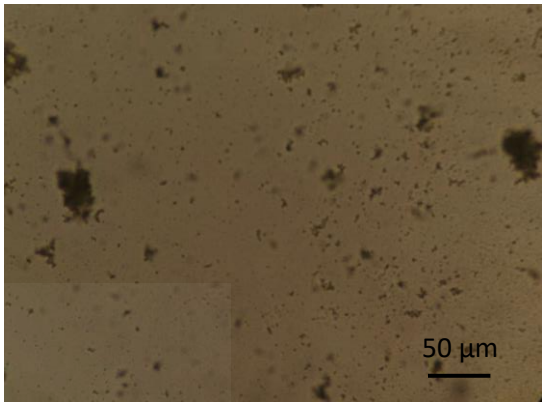
ข) 1 เดือน

ค) 3 เดือน

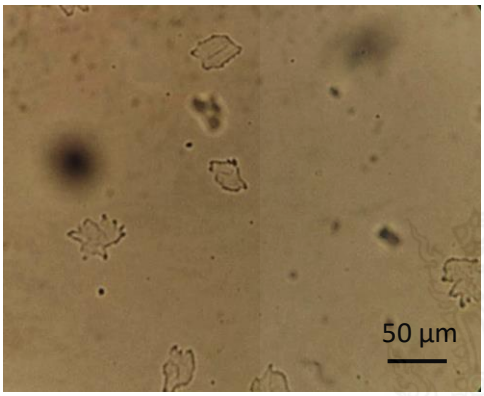
ภาพ 4.9 ลักษณะของสารสกัดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกัน (ต่อ)



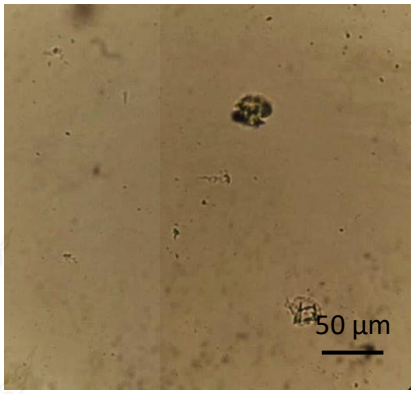
สารสกัดใบรางจืด (Th)



สารสกัดยูคาลิปตัส (Eu)

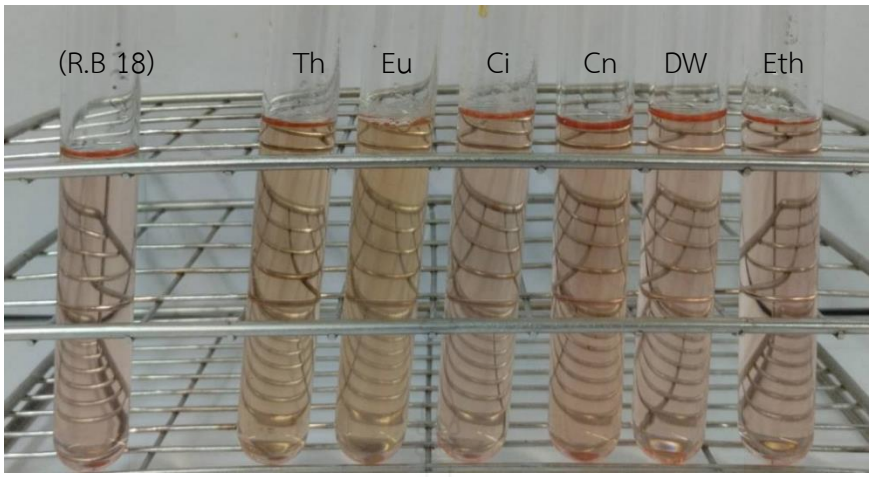


สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

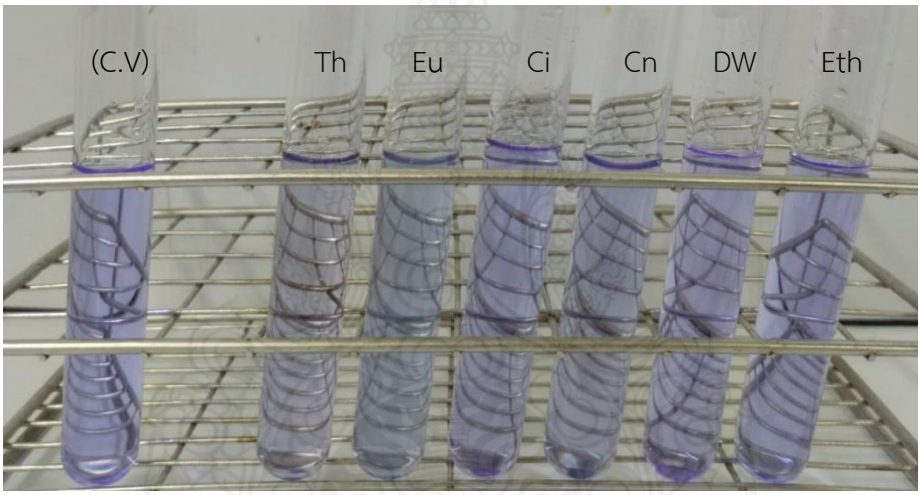


สารสกัดอบเชย (Cn)

ภาพ 4.10 ลักษณะของสารสกัดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือนจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40X

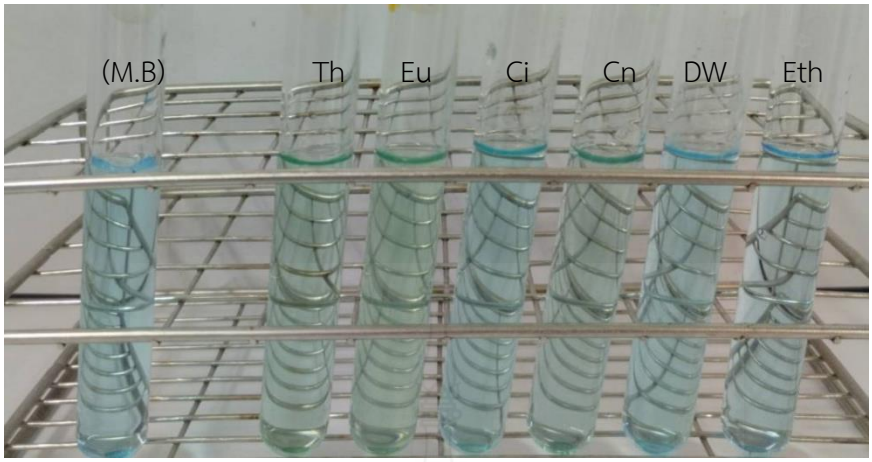


ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดสมุนไพร

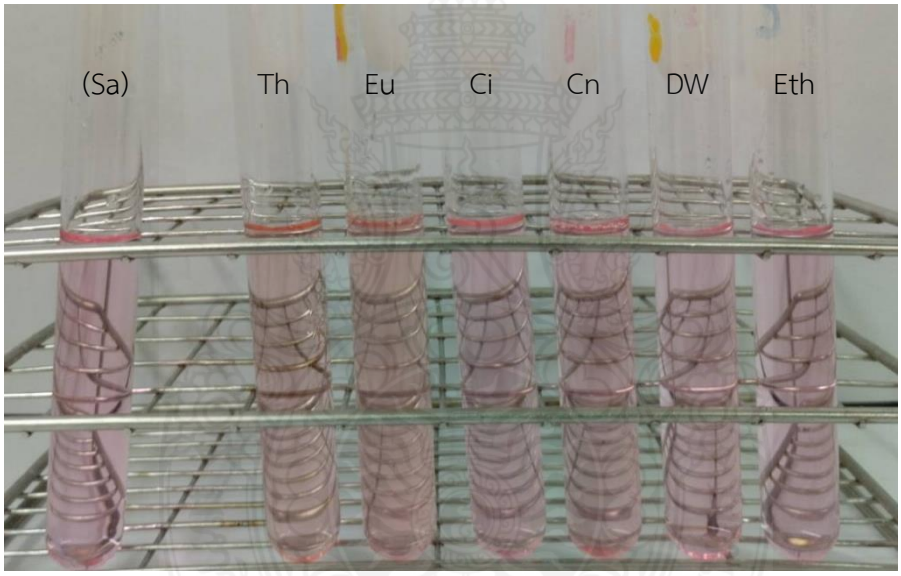


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดสมุนไพร

ภาพ 4.11 ความสามารถของสมุนไพรในการลดความเข้มข้นของสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำหลังจากเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน ตัวอย่างของสารเคมีสังเคราะห์ ก) C.I. Reactive Brown 18 ข) Crystal Violet ค) Methylene Blue และ ง) Safranin ตัวอย่างชนิดสารสกัดสมุนไพร คือ ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Ci), อบเชย(Cn) และตัวควบคุม คือ น้ำกลั่น (DW) และ Ethanol (Eth)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดสมุนไพร



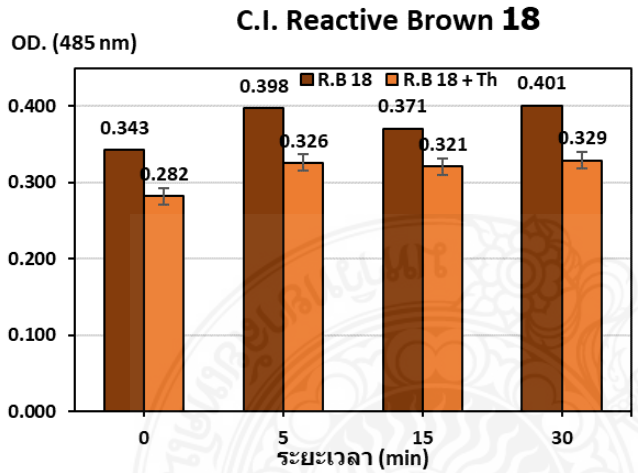
ง) Safranin (Sa) + สารสกัดสมุนไพร

ภาพ 4.11 ความสามารถของสมุนไพรในการลดความเข้มข้นของสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิดที่ตกค้างในน้ำหลังจากเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน ตัวอย่างของสารเคมีสังเคราะห์ ก) C.I. Reactive Brown 18 (REACTIVE BROWN 18) ข) Crystal Violet (C.V) ค) Methylene Blue (M.B) และ ง) Safranin (Sa) ตัวอย่างชนิดสารสกัดสมุนไพร คือ ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Ci), อบเชย(Cn) และตัวควบคุม คือ น้ำกลั่น (DW) และ Ethanol (Eth) (ต่อ)

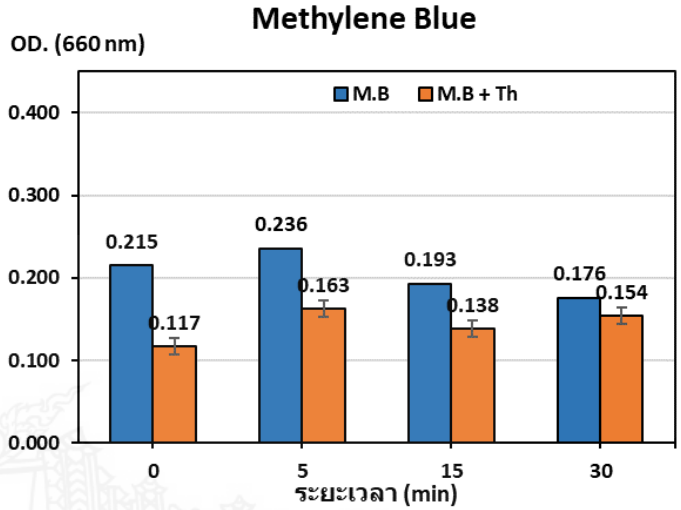
ผลการทดลองได้ถูกยืนยันถึงการเก็บสารสกัดสมุนไพรนาน 3 เดือน ส่งผลเสีย ทำให้คุณภาพของสารสกัดสมุนไพรเสื่อม และมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ เมื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรที่ถูกเก็บไว้ ด้วยการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารเคมีสังเคราะห์ก่อนและหลังการเติม สามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.3 พบว่าสูตรสารสกัดสมุนไพรที่เก็บไว้นาน 3 เดือน มีประสิทธิภาพลดลงร้อยละ 10-30 เมื่อเทียบกับสารสกัดสมุนไพรที่ทำการหลังภายใน 1 อาทิตย์หลังการสกัด (ตัวควบคุม) มีรายละเอียดแสดงในภาพ 4.12-4.14 คือ สารสกัดใบรางจืด ลดประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารเคมี Crystal Violet จากร้อยละ 29.4 เหลือร้อยละ 7.8 สารสกัดใบยูคาลิปตัส ลดประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารเคมี Methylene Blue จากร้อยละ 70.6 เหลือร้อยละ 63.8 สารสกัดเปลือกส้มโอ ลดประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารเคมี Methylene Blue จากร้อยละ 54.6 เหลือร้อยละ 25.4 และสารสกัดอบเชยลดประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารเคมี Safranin จากร้อยละ 50.8 เหลือร้อยละ 14

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรในการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ (ร้อยละ)

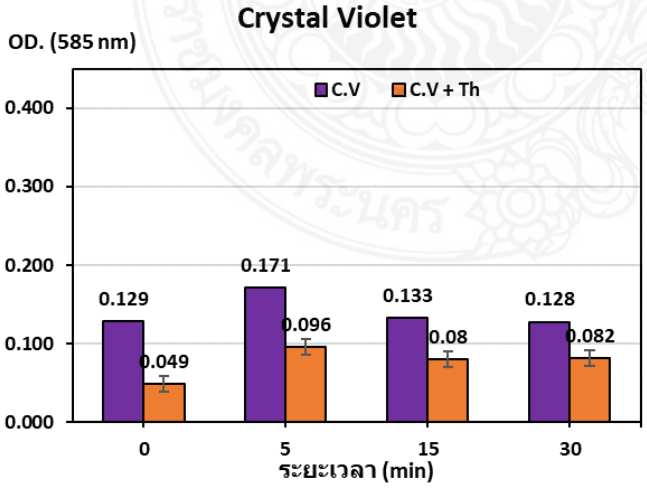
สารสกัดสมุนไพร / สารเคมีสังเคราะห์	สารสกัดใบรางจืด	สารสกัดใบยูคาลิปตัส	สารสกัดเปลือกส้มโอ	สารสกัดอบเชย
1. C.I. Reactive Brown 18	5.1	80.1	27	26.8
2. Crystal Violet	7.8	78	22.5	21.8
3. Methylene Blue	24.8	63.8	25.7	22.5
4. Safranin	1.3	77.6	21	14



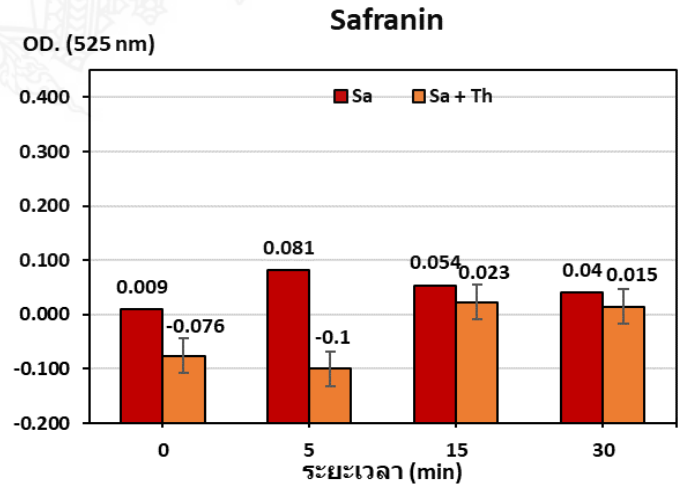
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบรางจืด (Th)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

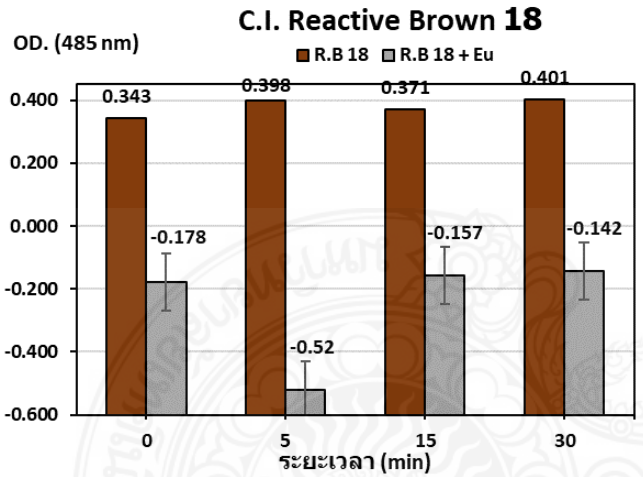


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

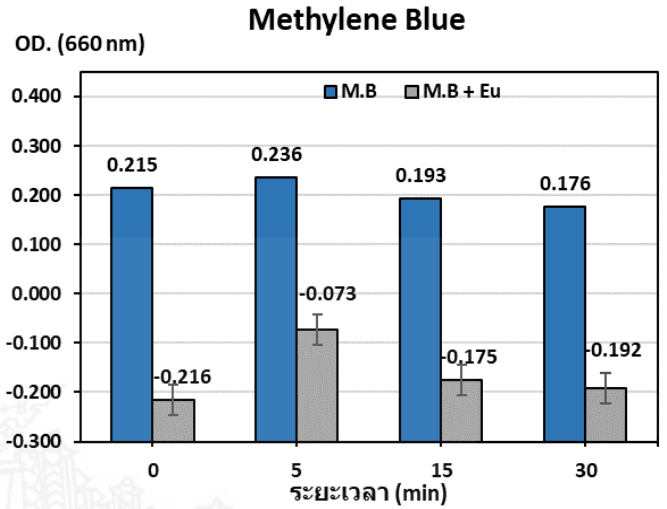


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

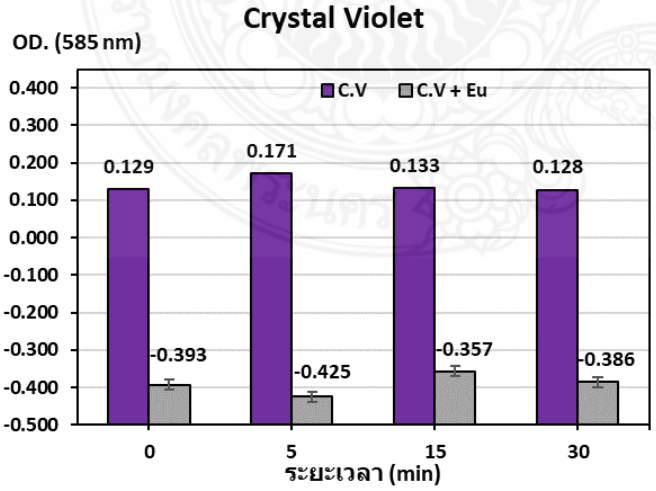
ภาพ 4.12 ประสิทธิภาพของสารสกัดใบรางจืดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ



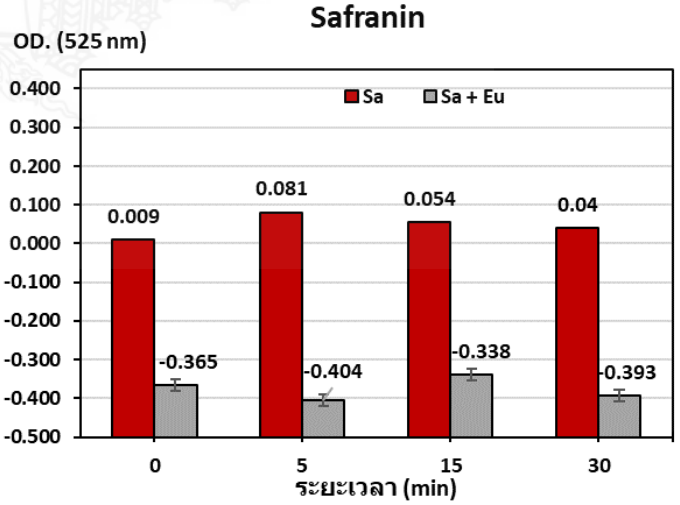
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

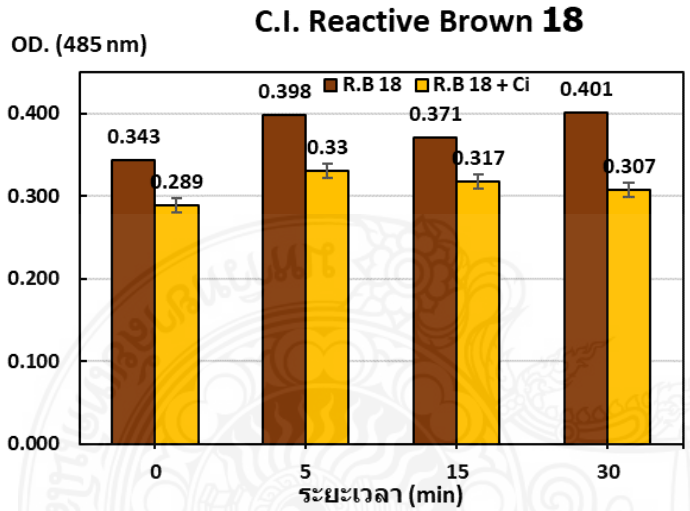


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

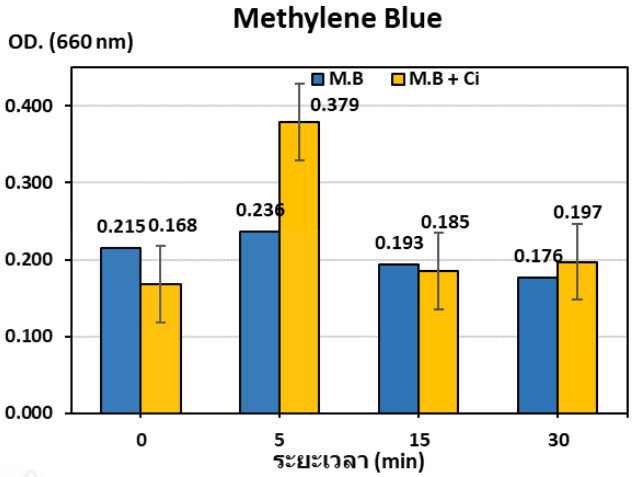


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

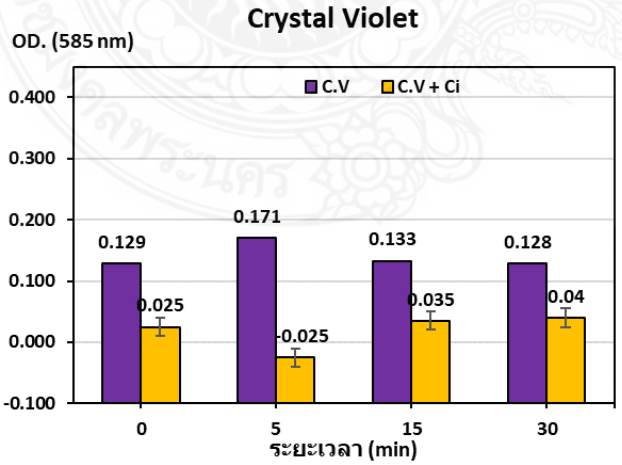
ภาพ 4.13 ประสิทธิภาพของสารสกัดใบยูคาลิปตัสในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ



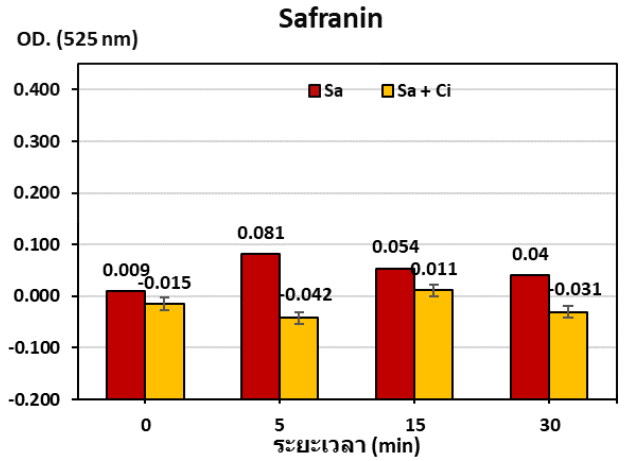
ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

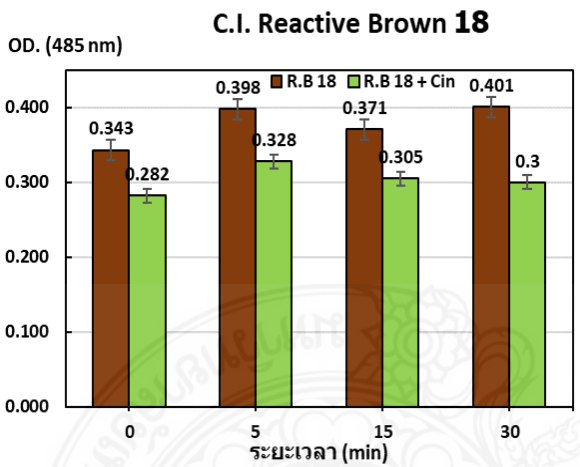


ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

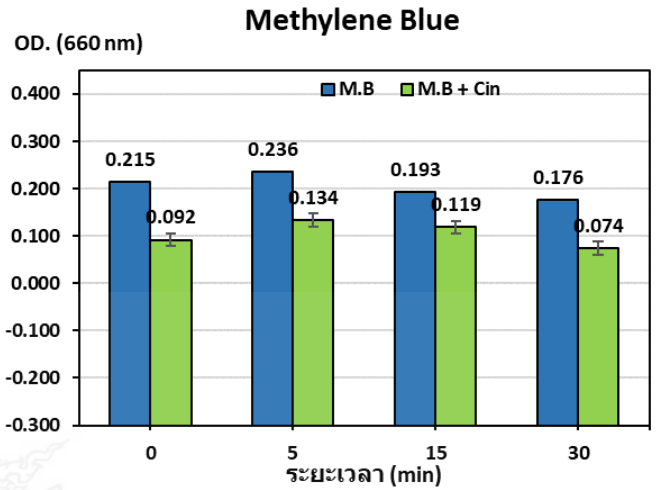


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

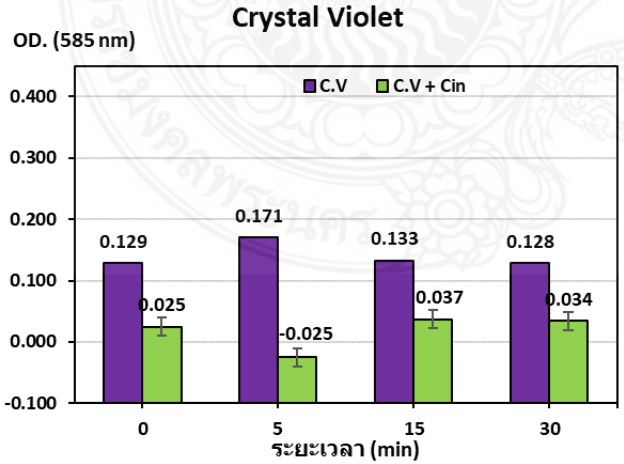
ภาพ 4.14 ประสิทธิภาพของสารสกัดเปลือกส้มโอในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ



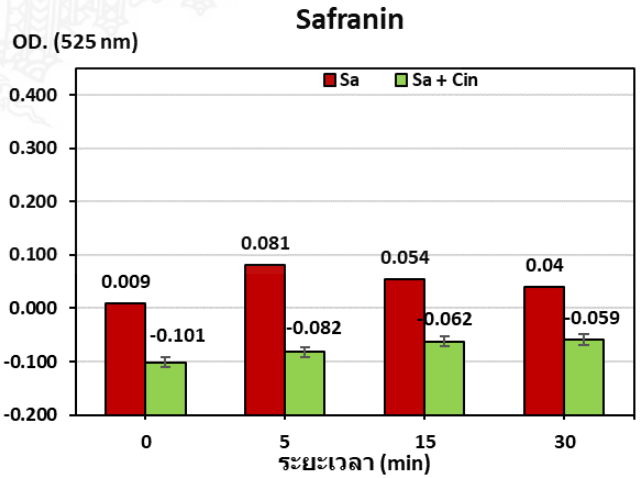
ก) C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18) + สารสกัดอบเชย (Cn)



ค) Methylene Blue (M.B) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)



ข) Crystal Violet (C.V) + สารสกัดอบเชย (Cn)



ง) Safranin (Sa) + สารสกัดอบเชย (Cn)

ภาพ 4.15 ประสิทธิภาพของสารสกัดอบเชยในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ

4.4 ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา

ในการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด (ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Ci), และอบเชย (Cn)) โดยใช้กลุ่มจุลินทรีย์ไม่ก่อโรคและมีประโยชน์และเชื้อราชนิด *Aspergillus niger* เป็นวัตถุดิบที่มาจากการคัดแยกจากนมเปรี้ยว, ชาหมัก, ยีสต์สำหรับทำไวน์, และเปลือกผลไม้ ด้วยการใช้วิธีการ Dilution method สำหรับทดลองกับเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* และ *Lactobacillus* spp., และเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และวิธีการ Spread plate method สำหรับเชื้อรา *Aspergillus niger* ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และผลในภาพ 4.16 ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

- ความไม่เป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรที่ทดสอบต่อจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อโรค และยังสามารถยับยั้งเชื้อที่ก่อโรคได้ (อาหารเลี้ยงเชื้อมีความขุ่น) มีการเจริญเติบโตได้ดีแม้พบว่ามีค่าแสดงให้เห็นแตกต่างกันในกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ทดสอบ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40x

- ส่วนเชื้อรา *Aspergillus niger* ที่ถูกเลี้ยงบนอาหารแข็งมีการเจริญเติบโตช้า มีกระจายตัวของเชื้อราและเส้นใยลดลง จากการดูลักษณะการเจริญเติบโตบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แสดงให้เห็นความไม่เป็นพิษโดยเฉพาะต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอาหารและสามารถยับยั้งเชื้อที่ก่อโรคได้ มีความปลอดภัยในการใช้สารสกัดสมุนไพร

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยเชื้อ *Bacillus cereus*

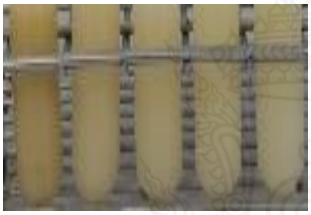
ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ /สารสกัดสมุนไพร	การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์				
		หลอด 1	หลอด 2	หลอด 3	หลอด 4	หลอด 5
Bacillus cereus / ใบรางจืด (Th)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Bacillus cereus / ใบยูคาลิปตัส (Eu)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Bacillus cereus / เปลือกส้มโอ (Ci)	1 2 3 4 5	+	+	+	+	+
Bacillus cereus / อบเชย (Cn)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+

หมายเหตุ เครื่องหมาย + บ่งบอกถึงระดับความขุ่นของอาหารเลี้ยง

++ คือ ขุ่นมาก

+ คือ ขุ่นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยเชื้อ *Lactobacillus* spp. (ต่อ)

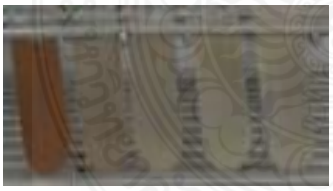
ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ /สารสกัดสมุนไพร	การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์				
		หลอด 1	หลอด 2	หลอด 3	หลอด 4	หลอด 5
Lactobacillus spp. / ใบรางจืด (Th)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Lactobacillus spp. / ใบยูคาลิปตัส (Eu)	1 2 3 4 5 	++	+	+	+	+
Lactobacillus spp. / เปลือกส้มโอ (Ci)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Lactobacillus spp. / อบเชย (Cn)	1 2 3 4 5	++	++	+	+	+

<u>หมายเหตุ</u> เครื่องหมาย + บ่งบอกถึงระดับความขุ่นของอาหารเลี้ยง

++ คือ ขุ่นมาก

+ คือ ขุ่นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* (ต่อ)

ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ /สารสกัดสมุนไพร	การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์				
		หลอด 1	หลอด 2	หลอด 3	หลอด 4	หลอด 5
Saccharomyces cerevisiae / ใบรางจืด (Th)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Saccharomyces cerevisiae / ใบยูคาลิปตัส (Eu)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Saccharomyces cerevisiae / เปลือกส้มโอ (Ci)	1 2 3 4 5	++	+	+	+	+
Saccharomyces cerevisiae / อบเชย (Cn)	1 2 3 4 5 	++	+	+	+	+

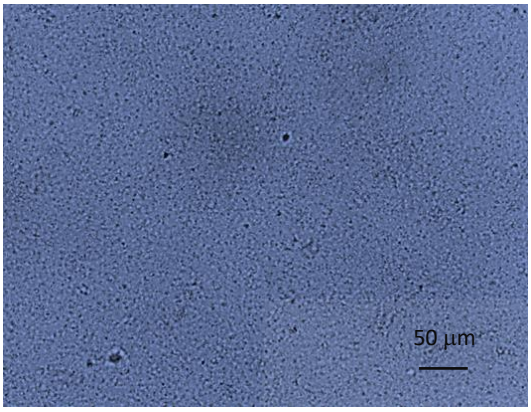
<u>หมายเหตุ</u> เครื่องหมาย + บ่งบอกถึงระดับความขุ่นของอาหารเลี้ยง

++ คือ ขุ่นมาก

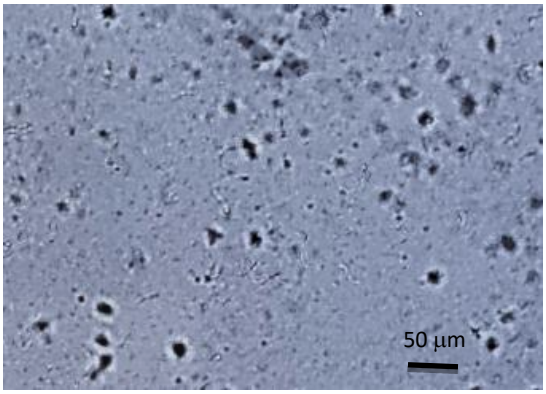
+ คือ ขุ่นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยเชื้อราชนิด *Aspergillus niger* (ต่อ)

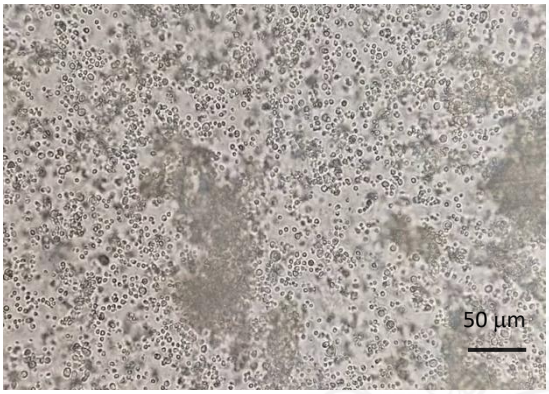
ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ /สารสกัดสมุนไพร	**การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพร**	**ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ ใช้วิธีการ Spread plate method ปริมาณสมุนไพร 0.05 ml**
Aspergillus niger / ใบรางจืด (Th)		มีการเจริญเติบโตดี กระจายตัวได้ทุกทิศทาง
Aspergillus niger / ใบยูคาลิปตัส (EU)		มีการเจริญเติบโตได้ช้ากว่า
Aspergillus niger / เปลือกส้มโอ (Ci)		มีการเจริญเติบโตได้ดี กระจายตัวได้ทุกทิศทาง
Aspergillus niger / อบเชย (Cn)		มีการเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากสารสกัดอบเชยช่วยให้เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้น



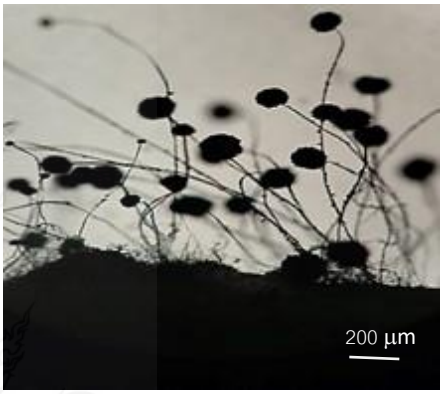
ก) เชื้อ *Bacillus cereus*



ข) เชื้อ *Lactobacillus* spp.



ค) เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae*



ง) เชื้อรา *Aspergillus Niger*

ภาพ 4.16 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการทดสอบความเป็นพิษในสารสกัดสมุนไพรภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X

4.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้

สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ ได้ถูกพัฒนาเป็นสูตรจากการผสมสารสกัดสมุนไพรเข้มข้น จากการผสมสารสกัดสมุนไพร 2 ชนิด จาก 4 ชนิด คือ ใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย ผสมเป็น 4 สูตร สามารถแสดงผลได้ดังนี้

- การผสมสารสกัดสมุนไพร

สูตร 1 ประกอบด้วยสารสกัดใบรางจืด, ใบยูคาลิปตัส, เปลือกส้มโอ และอบเชย ในอัตราส่วน 1:1 มีประสิทธิภาพสูงในการลดความปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส

สูตร 2 ประกอบด้วยสารสกัดใบยูคาลิปตัส และอบเชย มีประสิทธิภาพในการลดความปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ

สูตร 3 ประกอบด้วยสารสกัดใบรางจืด และเปลือกส้มโอ มีประสิทธิภาพในการลดความปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์บนพื้นผิวชนิดผ้าใยสังเคราะห์ได้ถึงร้อยละ 50

- ในการประยุกต์เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมนำไปใช้ ในการลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัสอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต พบว่าสามารถเจือจางในปริมาณที่เหมาะสม คือ ใช้สูตรสารสกัดสมุนไพร 0.1 mL ต่อน้ำ 10 mL และระยะเวลาการปนเปื้อนก่อนการจัดการไม่ควรเกิน 30 นาที

ภาพ 4.17 สารสกัดสมุนไพรก่อนนำไปผสมเป็นผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง ประกอบด้วย 4 ชนิด คือ (1) สารสกัดใบรางจืด (Th) (2) สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu) (3) สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci) (4) สารสกัดอบเชย (Cn) และตัวอย่างสีของสารสกัดสมุนไพรถูกแสดงบนกระดาษ

ภาพ 4.18 ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้งานจำนวน 3 สูตร เพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในรูปแบบพร้อมใช้งาน คือ สูตรสารสกัดสมุนไพรเพื่อลดสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ (ซ้าย) และบนพื้นผิวในรูปแบบสเปรย์ (ขวา) ทั้ง 3 สูตร คือ สูตร 1 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด (Th) สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu) สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci) และสารสกัดอบเชย (Cn), สูตร 2 สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu) และสารสกัดอบเชย (Cn) และสูตร 3 ประกอบด้วย สารสกัดใบรางจืด (Th) และสารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยเรื่องนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพื่อกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง ทีมผู้วิจัยได้ทำลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส ศึกษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของสารสกัดสมุนไพร ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา และพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรในรูปแบบพร้อมใช้ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีสังเคราะห์ สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ในการพัฒนาสารสกัดสมุนไพรเพื่อการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้างในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส สารสกัดสมุนไพร 4 ชนิด คือ ใบรางจืด (Th), ใบยูคาลิปตัส (Eu), เปลือกส้มโอ (Cn) และ อบเชย (Ci) มีความสามารถลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิด คือ C.I. Reactive Brown 18, Crystal Violet, Methylene Blue และ Safranin ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 0.001 ppm โดยสารสกัดใบรางจืด ใบยูคาลิปตัส เปลือกส้มโอและอบเชย สามารถลดสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำชนิด Crystal Violet (ร้อยละ 29.4) Methylene Blue (ร้อยละ 70.6) Methylene Blue (ร้อยละ 54.6) และ Safranin (ร้อยละ 50.8) ตามลำดับ

5.1.2 เมื่อพัฒนาเป็นสูตรผสมของสารสกัดสมุนไพรทั้ง 4 ชนิด โดยการเลือกมาทีสองชนิดผสมกันในอัตราส่วน 1:1 พบว่าสูตรสารสกัดสมุนไพรทั้งหมดมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 80 และเหมาะสมกับการนำไปใช้ลดการปนเปื้อนบนพื้นผิวสัมผัสและในน้ำ ไม่ใช่บนผ้าเพราะพบว่าสามารถลดลงได้ไม่เกินร้อยละ 50 ในสภาพที่ต้องไม่ทิ้งให้สีสารสังเคราะห์แห้งบนผ้าไม่เกิน 30 นาที

5.1.3 ผลิตภัณฑ์สูตรสารสกัดสมุนไพรทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการลดสารเคมีสังเคราะห์ลดลงหากเก็บไว้นานเกิน 3 เดือน เช่น สารสกัดใบรางจืดต่อ Crystal Violet ลดลงร้อยละ 21.6 สารสกัดใบยูคาลิปตัสต่อ Methylene Blue ลดลงร้อยละ 6 สารสกัดเปลือกส้มโอต่อ Methylene Blue ลดลงร้อยละ 29.2 และสารสกัดอบเชยต่อ Safranin ลดลงร้อยละ 36.8

5.1.4 สารสกัดสมุนไพรทั้งสี่ชนิดไม่เป็นพิษของต่อกลุ่มที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ ยกเว้นแต่สารสกัดใบยูคาลิปตัสมีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราชนิด *Aspergillus niger* ในระดับต่ำ (จากผลการศึกษาเมื่อมีสารสกัดใบยูคาลิปตัสสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราดังกล่าวบนอาหารแข็งลดลง ร้อยละ 10-20)

5.1.5 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรที่ได้ พบว่ามี 3 สูตรที่มีความสามารถเหมาะสมในการใช้ลดการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส คือ สูตร 1 ประกอบด้วยสารสกัด Th, Eu, Ci, และ Cn มีประสิทธิภาพสูงในการลดความปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้งและบนพื้นผิวสัมผัส สูตร 2 ประกอบด้วยสารสกัด Eu และ Cn และสูตร 3 ประกอบด้วยสารสกัด Th และ Ci มีประสิทธิภาพในการลดความปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำ และทั้ง 3 สูตรนี้มีความสามารถเหมาะสมในการใช้ลดการ

ปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์บนพื้นผิวชนิดผ้า โดยเฉพาะบนผ้าใยสังเคราะห์ได้ถึงร้อยละ 50 การนำไปใช้ควรเจือจางในปริมาณที่เหมาะสมคือ สูตรสารสกัดสมุนไพร 0.1 mL ต่อน้ำ 10 mL และระยะเวลาการปนเปื้อนของสารเคมีสังเคราะห์ก่อนการจัดการไม่ควรเกิน 30 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษา พัฒนาวิธีการสกัดสมุนไพร เพื่อให้มีอายุการใช้งานได้ยาวนานมากขึ้น ได้อย่างน้อย 3 เดือน ตามที่พบกันในผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางการค้าส่วนใหญ่

5.2.2 ควรมีการพัฒนาและต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพิ่มมากขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์สำหรับการล้างผัก สระล้างผม

5.2.3 ควรมีการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพรเพิ่มเติม เช่น ศึกษาการเติมหรือกระบวนการสกัดให้ได้ผลิตภัณฑ์สารสกัดสมุนไพร ที่มีอายุการใช้งานได้ดี เร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เกษม จันทร์แก้ว. (2526). **คุณภาพของน้ำ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.dnp.go.th/Research/watershade/qullity.htm สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566.

ขนิษฐา ศรีนวล. (2550). **สีย้อมผ้า มีกี่ประเภท.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=6&bookID=370&read=true&. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2566.

เครื่องสำอางธรรมชาติ. (2562). **ข้อดีของสีย้อมธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://iunatural.com/th/ventajas-de-usar-un-tinte-natural. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี. (2558). **สมุนไพร.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.rama.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/pois-cov/Herbal. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

จันทพร มณีเสน. (2563). การศึกษาของการใช้รางจืดเป็นยาต้านพิษ. **วารสารสาธารณสุขและวิทยาศาสตร์สุขภาพ,** 2563. 1: 28-38.

จันทิมา ชั่งสิริพร. (2556). **การบำบัดสารเคมีสังเคราะห์จากกระบวนการย้อมสี.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/PSU.res.2013.3. สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566.

ชาลิกา เคนดี. (2554). **สีผสมอาหารภัยใกล้ตัว ที่มากับความสวยงาม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/k-center/download?id=40667&mid=31946&mkey=m_document&lang=th&did=13783. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

โชคอนันต์และ กลุ่มสมุนไพรไทยแผนไทย. (2551). **พืชสมุนไพร.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : http://ulibm.bcnsprnw.ac.th/ULIB6/dublin.php?ID=13399115120. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

ชิตินทร บุญสุขจิตเสรี และศุภนิดา หอมพูลทรัพย์. (2541). **สเปรย์ขจัดคราบมันจากน้ำมันเปลือกส้มโอ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก https://www.scimath.org/project/item/6633-product-of-wiping-spray-from-pomelo-peel-oil. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 เมษายน 2566.

ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. (2559). **การลดสีในน้ำ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: http://otop.dss.go.th/index.php/en/home/8-news/400-otop-2020-5. สืบค้นเมื่อ วันที่ 9 มีนาคม 2566.

ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร.(2553). **รางจืด**. [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://apps.phar.ubu.ac.th/thaicrudedrug/main.php?action=viewpage&pid=115. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2566.

ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร. (2553). **อบเชย.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://apps.phar.ubu.ac.th/thaicrudedrug/main.php?action=viewpage&pid=149. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2566.

ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร. (2553). **ส้มโอ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://apps.phar.ubu.ac.th/thaicrudedrug/main.php?action=viewpage&pid=134. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2566.

ฐิติกร พรหมบรรจง และคณะ. (2562). **การสลายสีเมทิลีนบลูของเม็ดบีทที่ตรึงสารสกัดหยาบใบรางจืด.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 5(2): 48-59.

ณัฐวัชร์ ถาวรวงษ์และ จิรเวทย์ มากมี. (2559). **โครงสร้างของสี Methylene blue.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://research.psru.ac.th/conf/pibulresearch2018/files/proceedings/PCR2018_SciFull1.pdf. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

ทศพร ลีลา. (2553). **การยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากสมุนไพร**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวะกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทพฤทธิ ปิติฤทธิ. (2544). การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกา-อลูมินา. **การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อม.** 2554, 34-60.

นิตยา ผาสุขพันธุ์. (2558). **กระบวนการในการบำบัดสีย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6122/163. สืบค้นเมื่อ วันที่ 3 เมษายน 2566.

นภา ศิวรังสรรค์. (2554). การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำเสียด้วยหินดินดาน. **การกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี.** 2554, 19-36.

บริษัท กรีน วอเทอร์ ทรีท จำกัด.(2535). **วิธีการบำบัดน้ำเสีย.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.greenwatertreat.com/15931253/ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสีย สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์. 2566.

บัณฑสันต์ ขวัญข้าว. (2549). **สารเคมีสังเคราะห์.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www /files/res_che2553/resche_files/557_chapter2.pdf สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 กุมภาพันธ์. 2566.

ประกร รามกูล. (2553). **นวัตกรรมตัวดูดซับแทนนินในการแยกโลหะจากสารละลาย,** 2553. 72: 17-22.

ปรีชา มูลสิน**.** (2562). **สีย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://research.psru.ac.th/files/res_che2553/resche_files/557_chapter2.pdf. สืบค้นเมื่อ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2566.

ปวีณา ธนะสังข์. (2539). **การกำจัดสีจากน้ำทิ้งฟอกย้อมสิ่งทอ โดยวิธีการออกซิเดชัน-รีดักชัน**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี:กรุงเทพฯ. สืบค้นข้อมูลจาก https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/66967. สืบค้นเมื่อ วันที่ 16 มิถุนายน 2566.

ปรวรรณ คารวะวิชัย. (2557). **การหาปริมาณไลโคปีน และจนลศาสตร์ของคลิสตัสไวโอเลตและไฮรดรอกไซด์.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาศิลปากร.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). **ข้อดีของสีย้อมสังเคราะห์.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2950/food-color. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). ***Lactobacillus/*แล็กโทบาซิลลัส.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1271/lactobacillus. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). ***Bacillus/*บาซิลลัส.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1226/bacillus. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). ***Aspergillus*.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1438/aspergillus. สืบค้นเมื่อ วันที่ 29 กันยายน 2566.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). ***Yeast/*ยีสต์.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0555/yeast. สืบค้นเมื่อ วันที่ 29 กันยายน 2566.

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน. (2525). **สมุนไพร.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://dictionary.orst.go.th/สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญและ ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2548). **ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.stou.ac.th/schools/shs/booklet/6_2548/occhealth.htm. สืบค้นเมื่อ วันที่ 3 เมษายน 2566.

รัตนะ อุทัยผล. (2523). **ข้อเสียของสีย้อมธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://research.psru.ac.th/files/res_che2553/resche_files/394_chapter2.pdf. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

รสวรรณ จงไมตรีพร. (2560). **ชนิดและคุณสมบัติของผ้า.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : http://www.hartotop.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538853284 สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2566.

วงศ์กนก อยู่สงค์. (2556). สีย้อมผ้า ภัยใกล้ตัว. **สีย้อมผ้า.** 2556, สิงหาคม. 22-58.

วิภาดาศิริ อนุสรณ์ศักดิ์. (2562). ความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำห้องปฏิบัติการเคมีและสิ่งแวดล้อม. **ความหมายของพารามิเตอร์,** 2562, 1-3.

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2565). **ไฮโดรโซล (Hydrosol) คืออะไร.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=1619. สืบค้นเมื่อ วันที่ 28 กันยายน 2566.

วรรษวรรณ เที่ยงวรรณกานต์. (2563). **การบำบัดน้ำเสียสีย้อมรีแอกทีฟโดยการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก http://aunilo.uum.edu.my/Find/Record/th-cuir.5219/Details. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 เมษายน 2566.

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6. (2554). **วัตถุดิบย้อมสีธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://kmipc6.blogspot.com/2011/05/blog-post_29.html.สืบค้นเมื่อ วันที่ 7 มีนาคม 2566.

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6. (2553). **ประเภทของสีย้อมจากธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก http://kmipc6.blogspot.com/2011/05/blog-post_29.html. สืบค้นเมื่อ วันที่ 4 เมษายน 2566.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). **ประโยชน์ของสารส้ม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.scimath.org/article-science/item/2491-2011-11-19-17-27-36. สืบค้นเมื่อ วันที่ 9 มีนาคม 2566.

สุภาพร ชัยธัมมะปกรณ์. (2550). **กระบวนการทางกายภาพ-เคมี.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3/chapter3_water13.htm สืบค้นเมื่อ วันที่ 3 เมษายน 2566.

สำนักงานอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2536). **ยูคาลิปตัส.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_25_2.htm. สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มีนาคม 2566.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์และ ปวีณา ทวีกิจการ. (2557). **การกำจัดสีย้อม เบสิค แอซิด และรีแอคทีฟโดยการใช้ไซยาโนแบคทีเรีย Nostoc muscorum ที่มีชีวิต.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง:กรุงเทพฯ. DOI : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/KMITL.res.2014.42

สุพรรณี บุญเรือง. (2549). **สารเคมีจากธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก http://dspace.rmutk.ac.th/handle/123456789/1435. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มี.ค. 2566.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **สารที่ใช้ในการทดลองเพื่อยับยั้งสารพิษและสารเคมีสังเคราะห์.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https:///C:/Users/ACER/Downloads/noppolri,+%7B$userGroup99.pdf สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

ห้องปฏิบัติการทดสอบพิษวิทยา .(2560). **การทดสอบความเป็นพิษ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.eurolab.net/th/testler/mikrobiyolojik-testler/sitotoksisite-%28cytotoxicity%29-testleri/. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

องค์การเภสัชกรรม. (2564). **5 สมุนไพร พื้นบ้านต้านทานโควิด – 19.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://thaiherbinfo.com/th/article/5. สืบค้นเมื่อ วันที่ 1 มีนาคม 2566.

อดิศร จาตุรพิรีย์. (2543). การสลายตัวด้วยโฟโตแคตาไลติกของสารประกอบคลอโรฟีนอลโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบเทที่มีการหมุนเวียน. **วิธีการโฟโตแคตตาไลซิส,** 2543, 7-11.

อัมพร กรอบทอง. (2560). **สมุนไพรไทย มีคุณ มีโทษ.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.tmwa.or.th/new/lib/file/20170713195709.pdf. สืบค้นเมื่อ วันที่ 15 มีนาคม 2566.

อรุณี คงดี อัลเดรด. (2558). **การจำแนกและชนิดของสีย้อม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/a_kongdee.pdf สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

Aspose. 2566. **แปลง RGB เป็น LAB.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://products.aspose.app/svg/th/color-converter/rgb-to-lab. สืบค้นเมื่อ วันที่ 11 ตุลาคม 2566.

Beautycosmet. (2564). **กระบวนการสกัดสารสมุนไพร.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก: https://www.beautycosmet.com/cream-supplements/how-to-herbal-extraction-method. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

Benchchem. (2564). **โครงสร้างของสี Reactive brown 18.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.benchchem.com/product/b1172410. สืบค้นเมื่อ วันที่ 8 มีนาคม 2566.

Dithai. 2561. **ส้มโอ ประโยชน์ดีๆ สรรพคุณเด่นและข้อมูลงานวิจัย.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.disthai.com/17066273/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD. สืบค้นเมื่อ วันที่ 12 มีนาคม 2566.

Jensen, William B. (2007). **The Origin of the Oxidation-State Concept. Journal of Chemical,** 2007, 84 (9): 1418.

Loba chemie. (2565, กันยายน). เอกสารข้อมูลความปลอดภัย. **Safranine for microscopy,** 2565, 1: 1.

Nixsensor. 2566. **เครื่องมือวัดความเข้มสี RGB.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.nixsensor.com/free-color-converter/. สืบค้นเมื่อ วันที่ 11 ตุลาคม 2566.

Spluscorp. 2566. **มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม.** [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : https://www.spluscorp.com/16540873/มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม. สืบค้นเมื่อ วันที่ 13 มีนาคม 2566.

Shimna, K. et al. (2017). Short Scientific Report. **Coumarin, essential oil and total phenol levels in bark and leaves of Cinnamomum species,** 2017, 45:200-205.

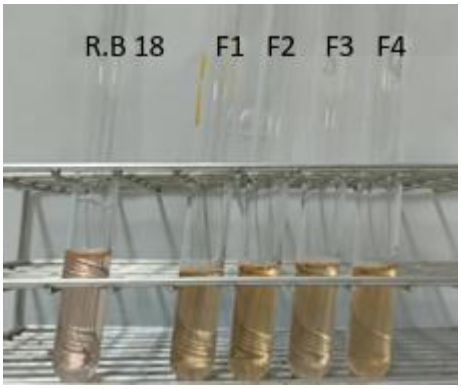
Pabón, S. et al. (2022). **Mercury (II) removal from aqueous solutions by iron nanoparticles synthesized from extract of Eucalyptus grandis,** 2022, 11: 1-3.

ภาคผนวก ก.

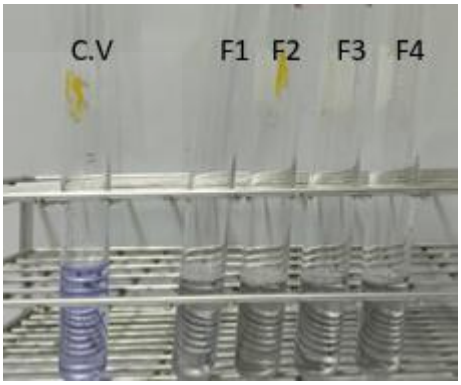
การศึกษาความความสามารถในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ในน้ำทิ้ง
(สูตรสารสกัดสมุนไพร)

ภาพภาคผนวก ก.1

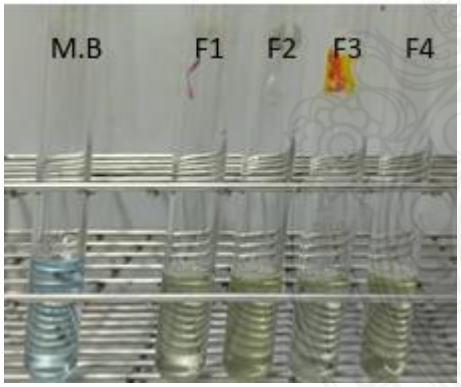
ผลการทดสอบสารสกัดสมุนไพรกับสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิด



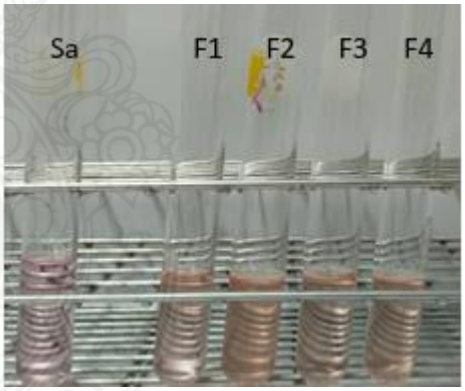
C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18)
+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



Crystal Violet (C.V)
+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



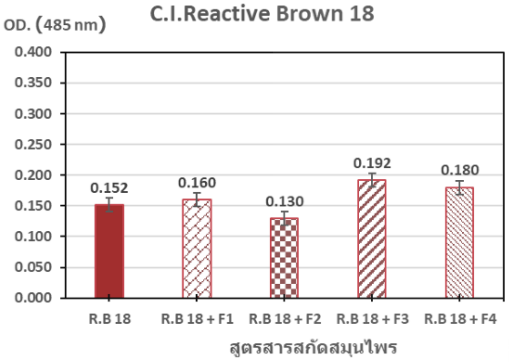
Methylene Blue (M.B)
+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



Safranin (Sa)
+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร

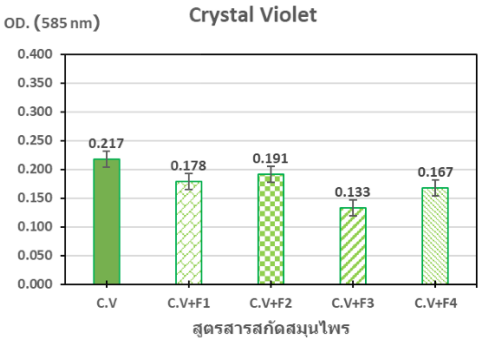
ภาพภาคผนวก ก.2

กราฟผลการทดสอบสารสกัดสมุนไพรกับสารเคมีสังเคราะห์ 4 ชนิด



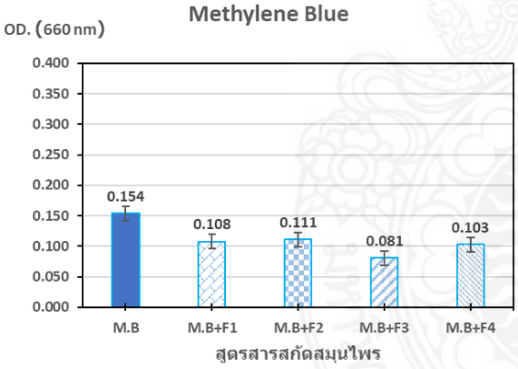
C.I. Reactive Brown 18 (R.B 18)

+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



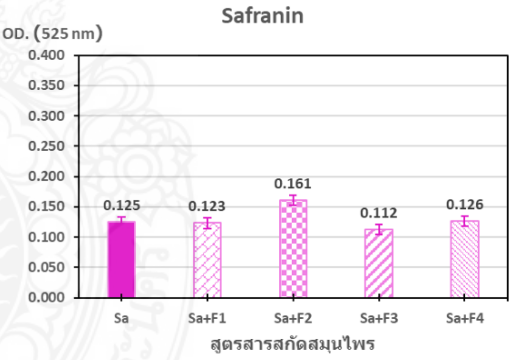
Crystal Violet (C.V)

+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



Methylene Blue (M.B)

+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร



Safranin (Sa)

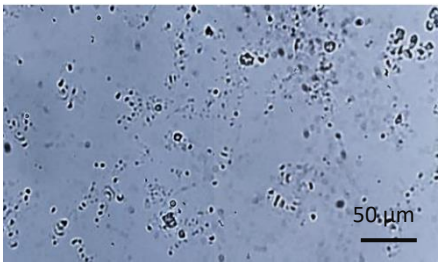
+ สูตรสารสกัดสมุนไพร 4 สูตร

ภาคผนวก ข.

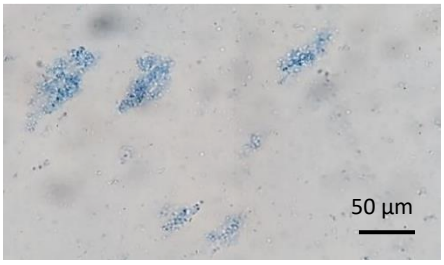
การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา

ภาพภาคผนวก ข.

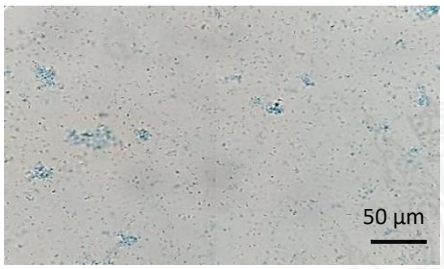
การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดสมุนไพรด้วยแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา



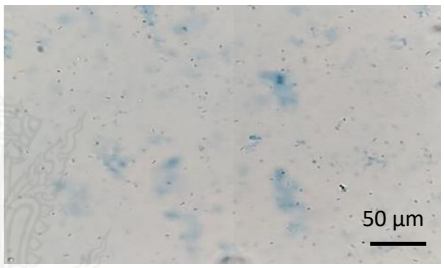
ภาพ 1 เชื้อ *Bacillus cereus* /ใบรางจืด



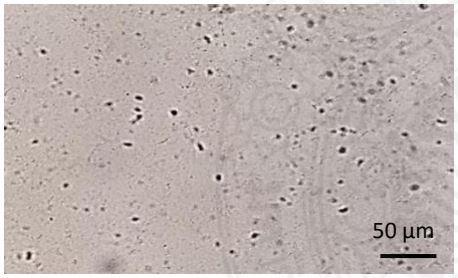
ภาพ 2 เชื้อ *Bacillus cereus* /ใบยูคาลิปตัส



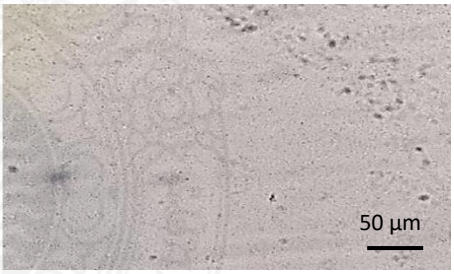
ภาพ 3 เชื้อ *Bacillus cereus* /เปลือกส้มโอ



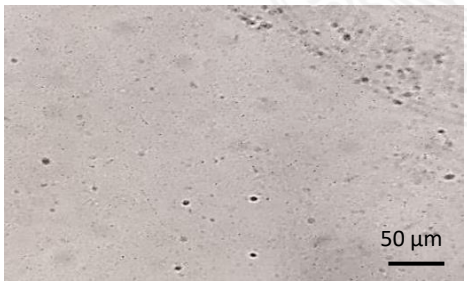
ภาพ 4 เชื้อ *Bacillus cereus* /อบเชย



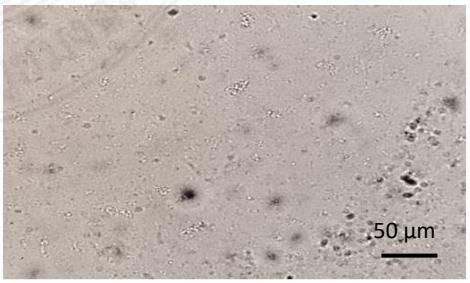
ภาพ 5 เชื้อ *Lactobacillus* spp. /ใบรางจืด



ภาพ 6 เชื้อ *Lactobacillus* spp. /ใบยูคาลิปตัส



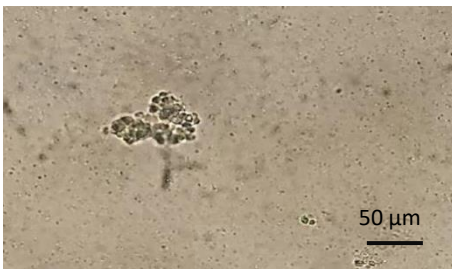
ภาพ 7 เชื้อ *Lactobacillus* spp. /เปลือกส้มโอ



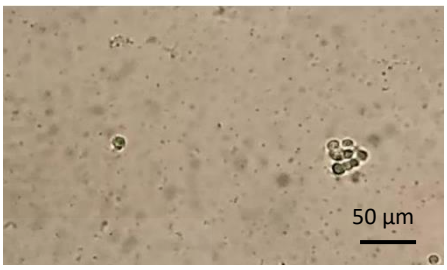
ภาพ 8 เชื้อ *Lactobacillus* spp. /อบเชย

ภาพภาคผนวก ข. ผลการทดสอบสารสกัดสมุนไพร ทั้ง 4 ชนิด ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ กลุ่ม *Bacillus cereus Lactobacillus* spp. *Saccharomyces cerevisiae*

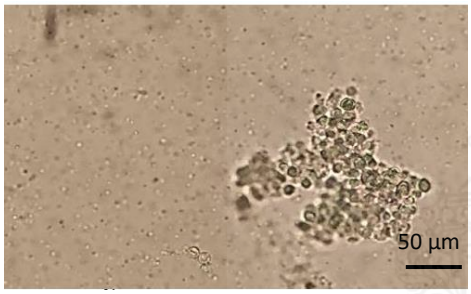
และ เชื้อราชนิด *Aspergillus niger*



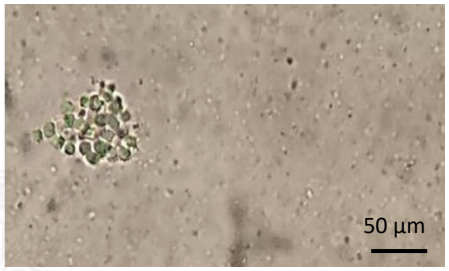
ภาพ 9 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* /ใบรางจืด



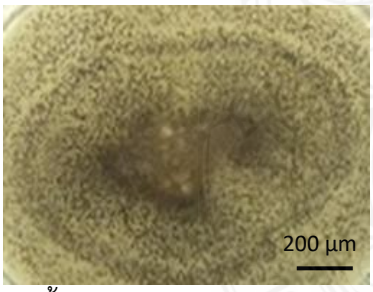
ภาพ 10 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* /ใบยูคาลิปตัส



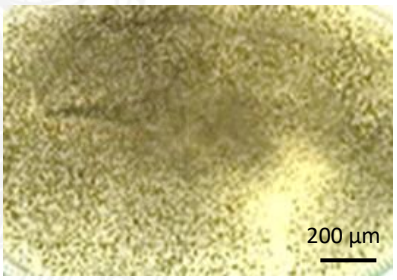
ภาพ 9 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* /เปลือกส้มโอ



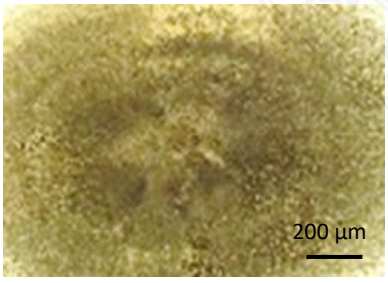
ภาพ 10 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* /อบเชย



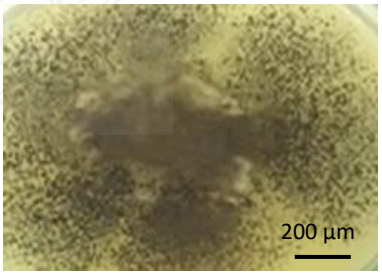
ภาพ 13 เชื้อ *Aspergillus niger*/ใบรางจืด



ภาพ 14 เชื้อ *Aspergillus niger*/ใบยูคาลิปตัส



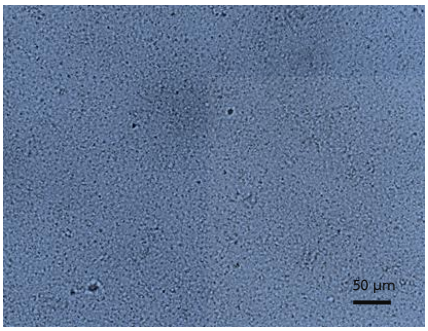
ภาพ 15 เชื้อ *Aspergillus niger*/เปลือกส้มโอ



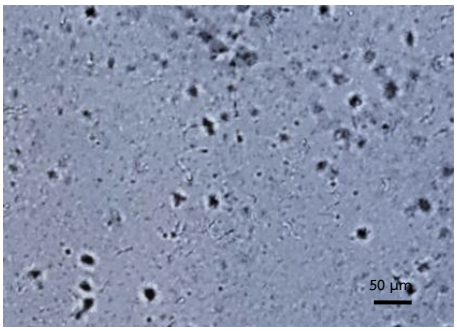
ภาพ 16 เชื้อ *Aspergillus niger*/อบเชย

ภาพภาคผนวก ข. ผลการทดสอบสารสกัดสมุนไพร ทั้ง 4 ชนิด ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์

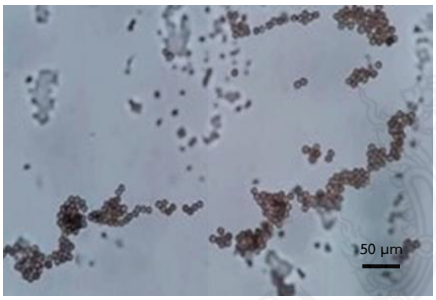
กลุ่ม *Bacillus cereus Lactobacillus* spp. *Saccharomyces cerevisiae*
และ เชื้อราชนิด *Aspergillus niger* (ต่อ)



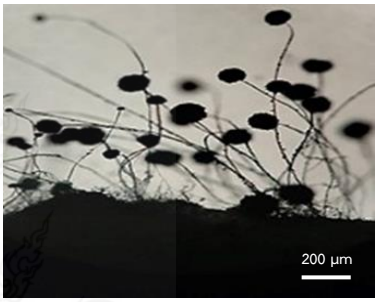
ภาพ 17 เชื้อ *Bacillus cereus*



ภาพ 18 เชื้อ *Lactobacillus* spp.



ภาพ 19 เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae*



ภาพ 20 เชื้อรา *Aspergillus niger*

ภาพภาคผนวก ข. ผลการทดสอบสารสกัดสมุนไพร ทั้ง 4 ชนิด ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์
กลุ่ม *Bacillus cereus Lactobacillus* spp. *Saccharomyces cerevisiae*
และ เชื้อราชนิด *Aspergillus niger* (ต่อ)

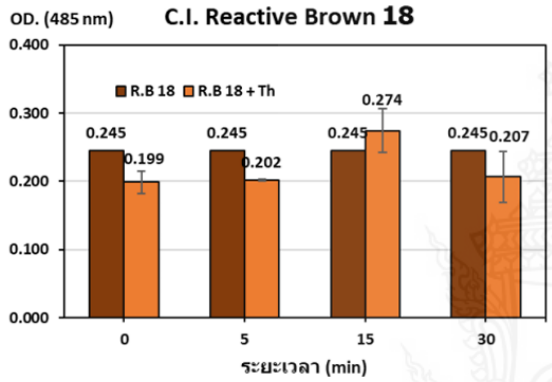
ภาคผนวก ค.

การเปรียบเทียบผลความสามารถและประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพร 4 ชนิดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ ระยะเวลา 1 เดือนและ 3 เดือน

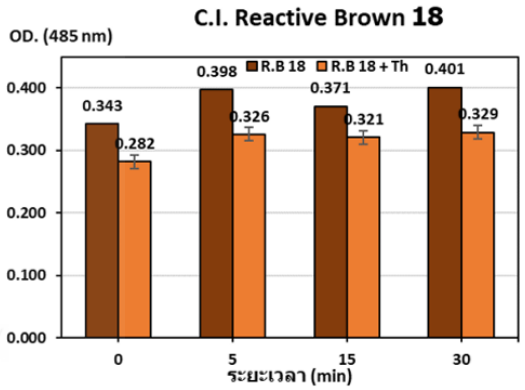
ภาพภาคผนวก ค.

กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลความสามารถและประสิทธิภาพของสารสกัดทั้ง 4 ชนิดในการลดการปนเปื้อนสารเคมีสังเคราะห์ตกค้าง 4 ชนิดในน้ำ 1 เดือนและ 3 เดือน

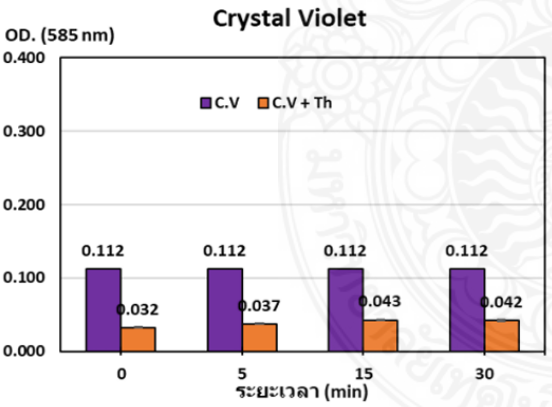
ระยะเวลา 1 เดือน

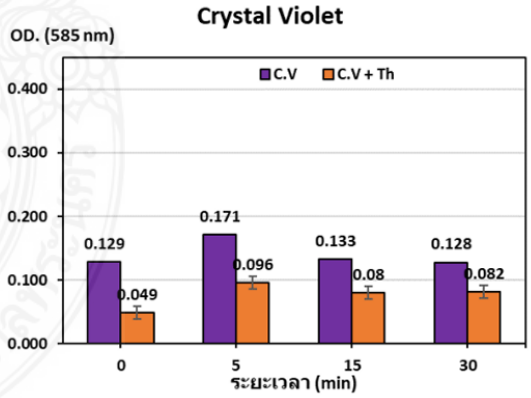


ระยะเวลา 3 เดือน

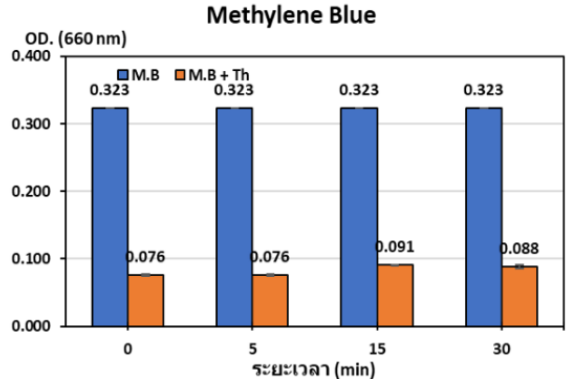


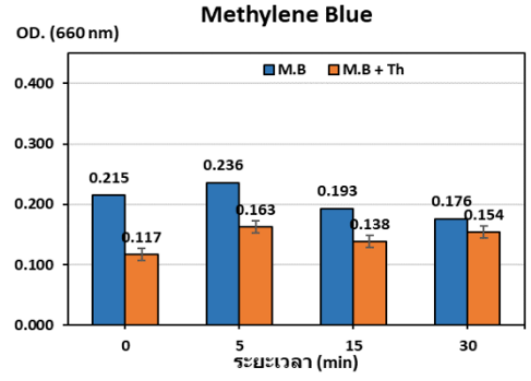
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบรางจืด (Th)





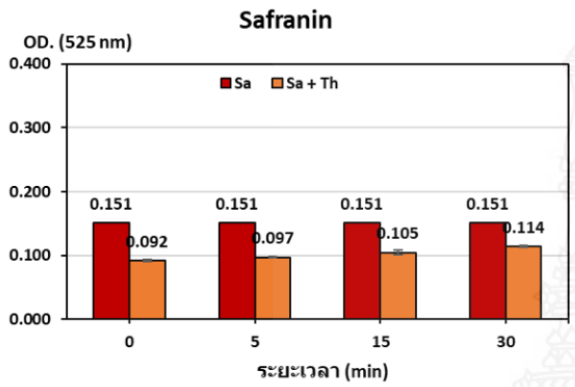
ข) Crystal Violet (R.B 18) + สารสกัดใบรางจืด (Th)



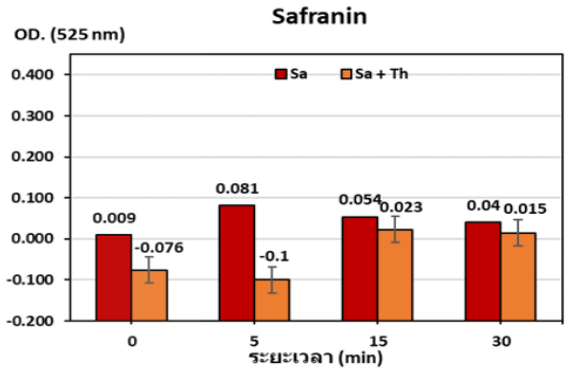


ค) Methylene Blue (R.B 18) + สารสกัดใบรางจืด (Th)

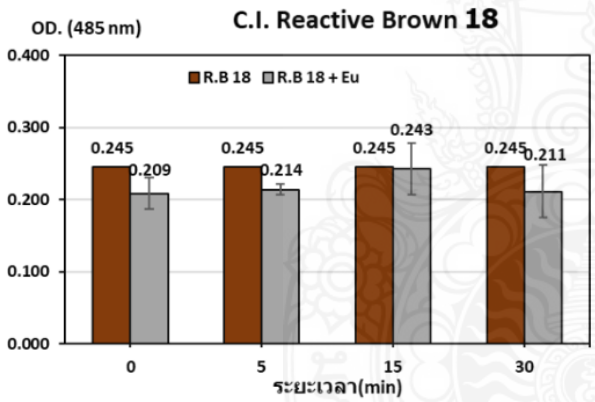
ระยะเวลา 1 เดือน

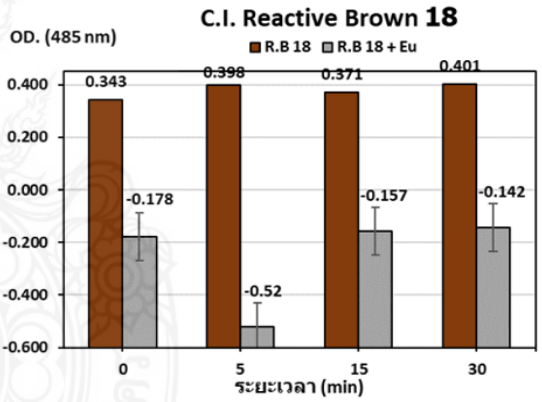


ระยะเวลา 3 เดือน

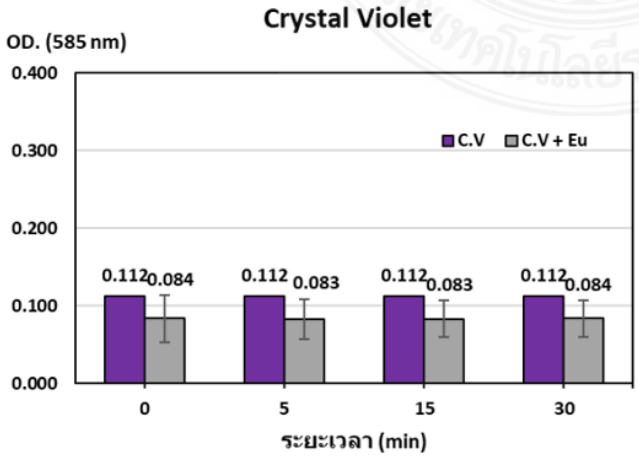


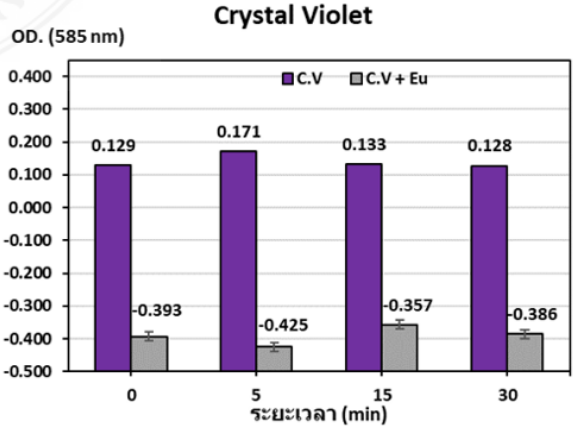
ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบรางจืด (Th)





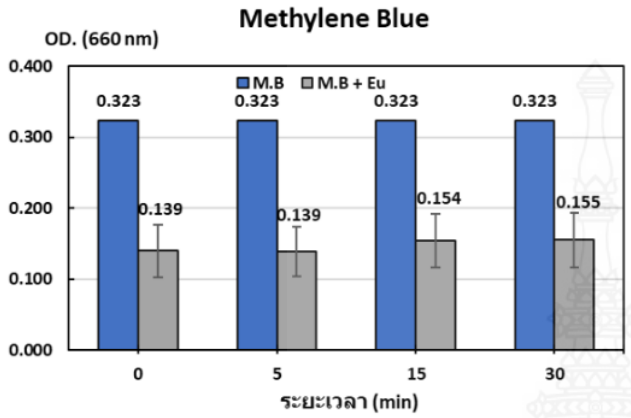
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)



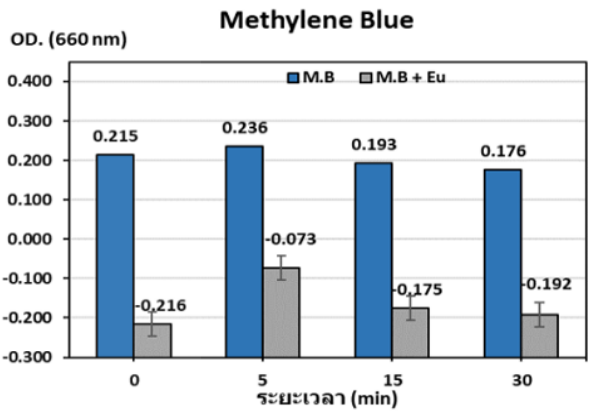


ข) Crystal Violet (R.B 18) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)

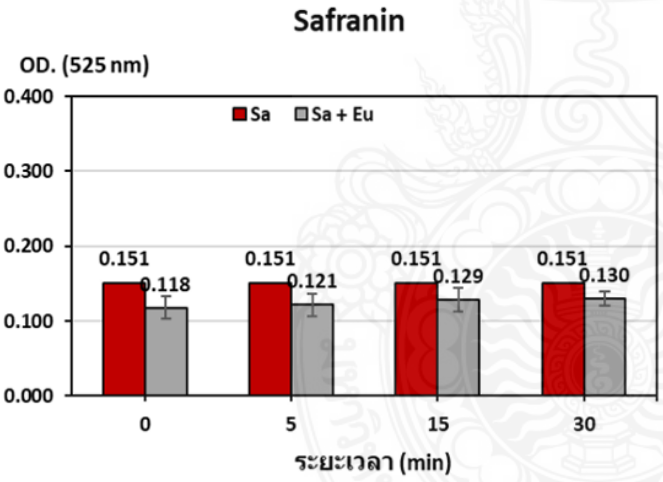
ระยะเวลา 1 เดือน

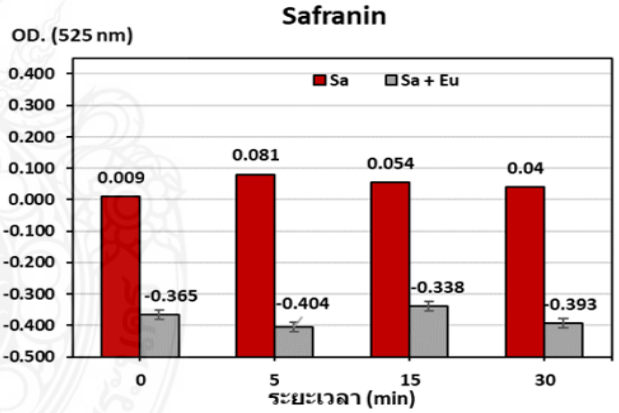


ระยะเวลา 3 เดือน

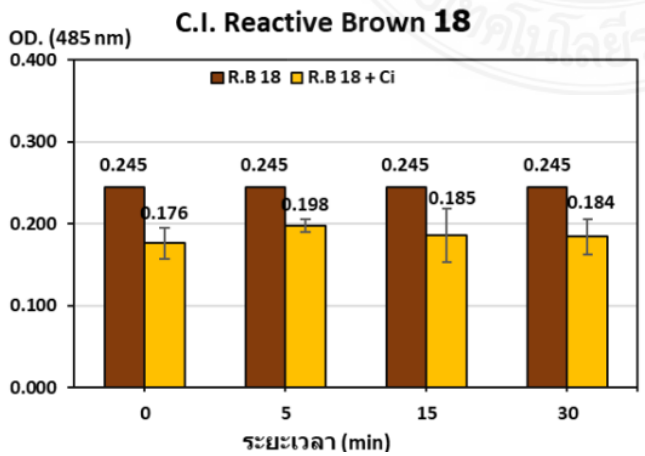


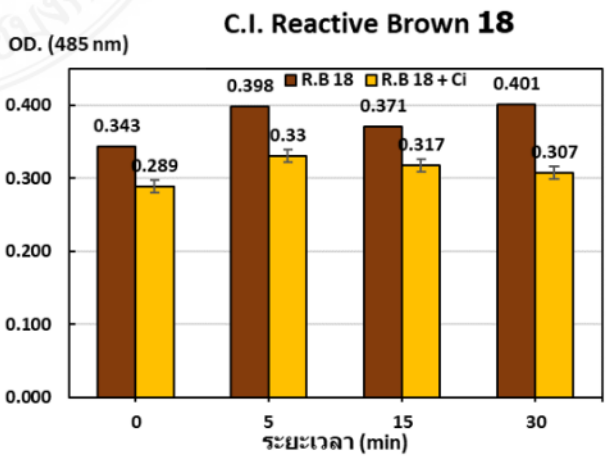
ค) Methylene Blue (R.B 18) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)





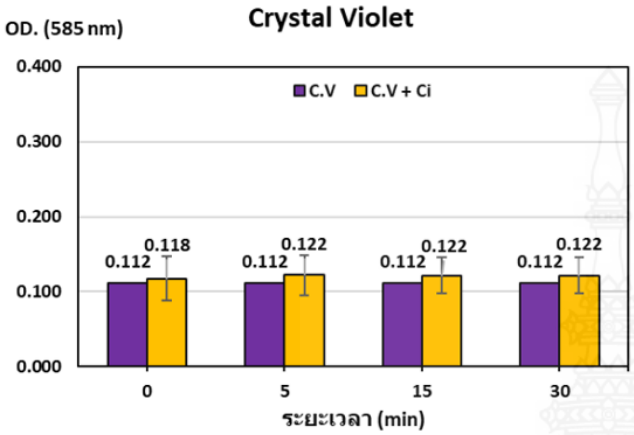
ง) Safranin (Sa) + สารสกัดใบยูคาลิปตัส (Eu)



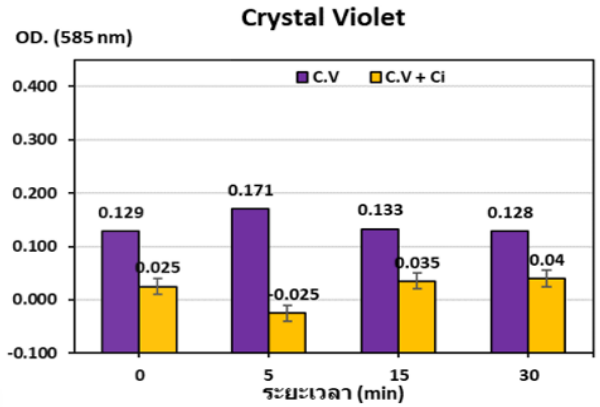


ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

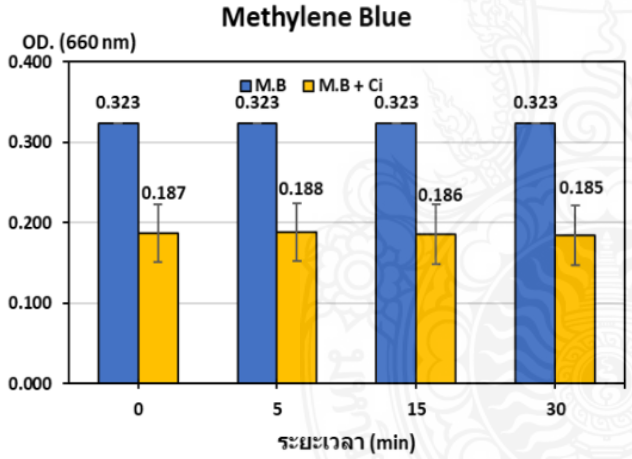
ระยะเวลา 1 เดือน

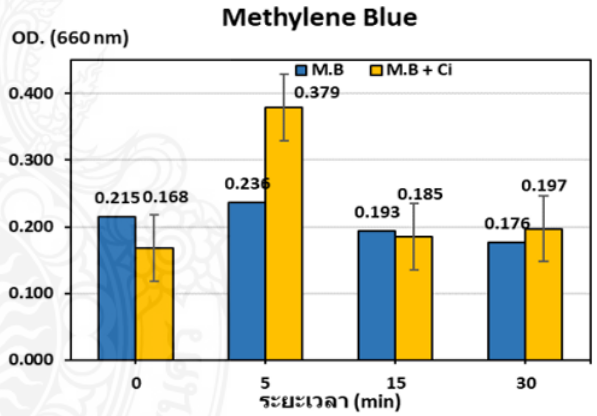


ระยะเวลา 3 เดือน

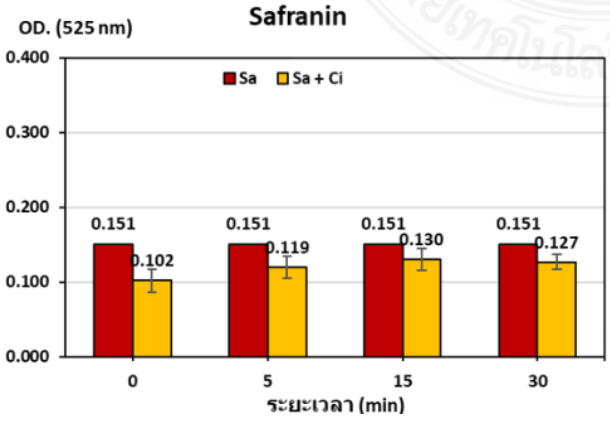


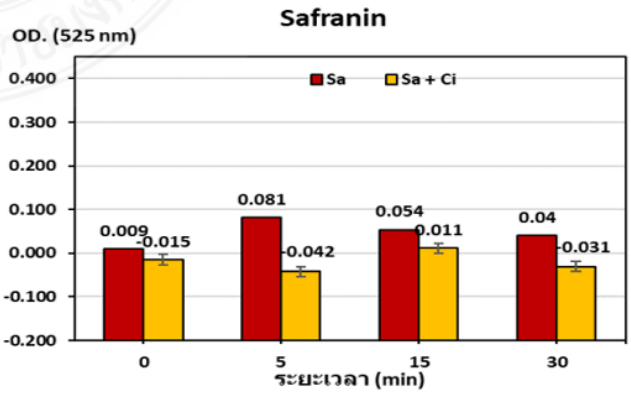
ข) Crystal Violet (R.B 18) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)





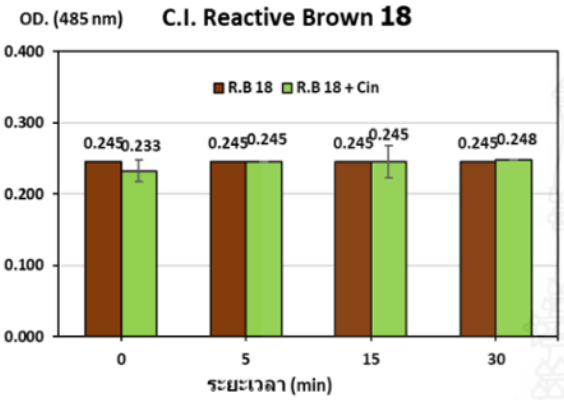
ค) Methylene Blue (R.B 18) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)



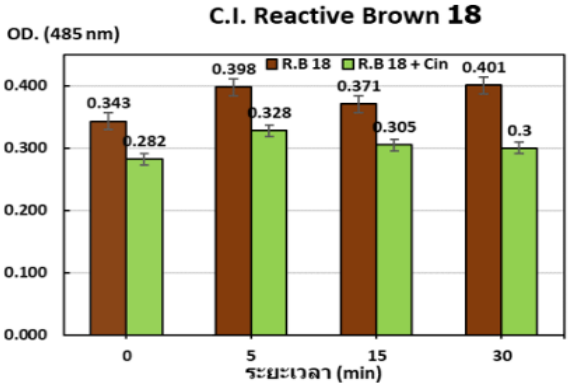


ง) Safranin (Sa) + สารสกัดเปลือกส้มโอ (Ci)

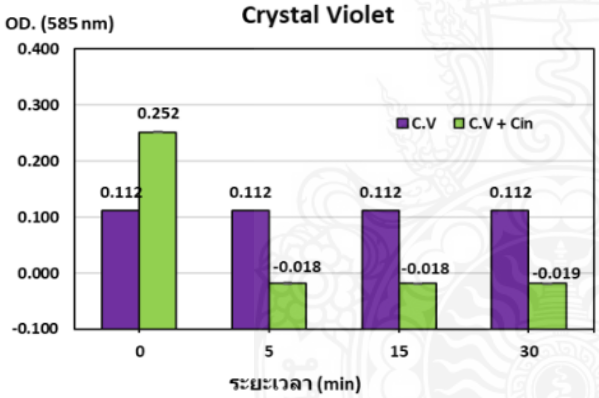
ระยะเวลา 1 เดือน

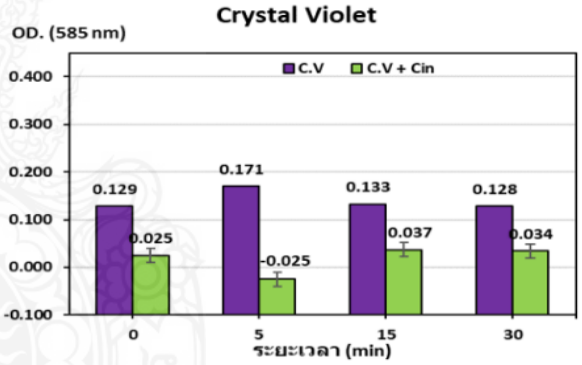


ระยะเวลา 3 เดือน

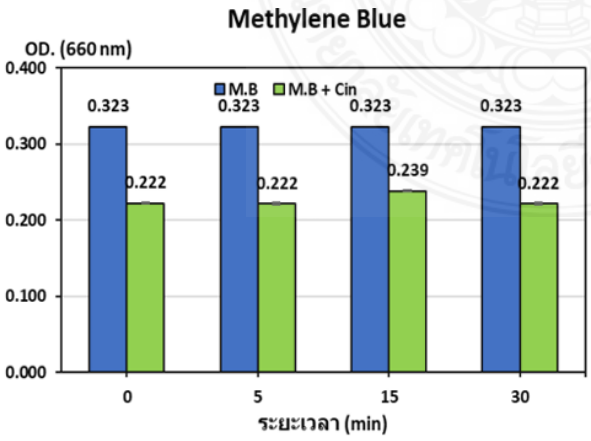


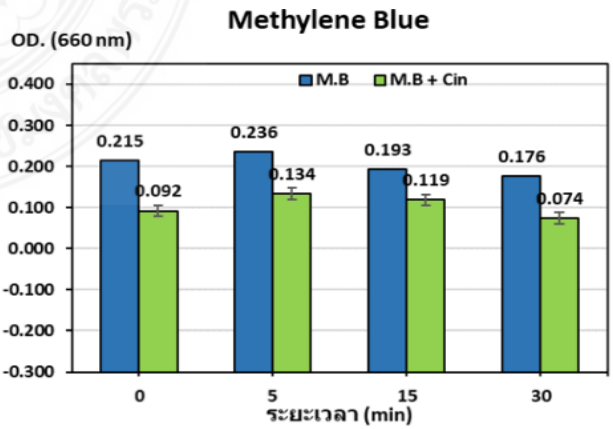
ก) C.I. Reactive Brown (R.B 18) + สารสกัดอบเชย (Cn)





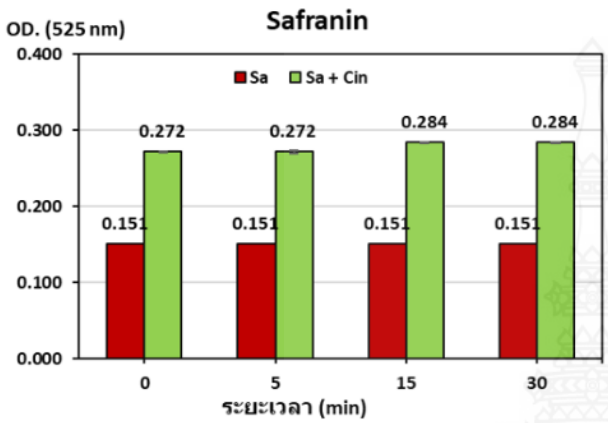
ข) Crystal Violet (R.B 18) + สารสกัดอบเชย (Cn)



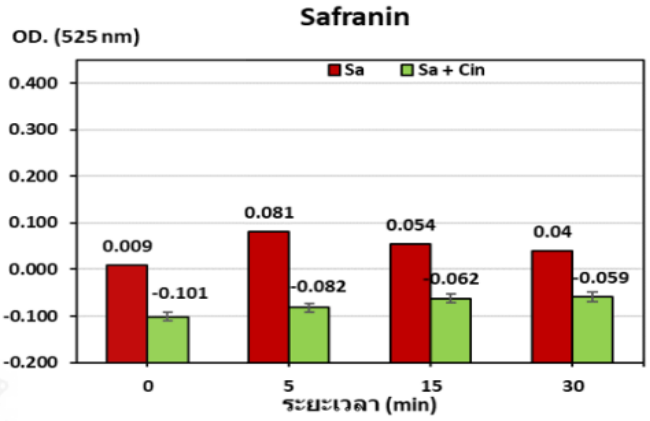


ค) Methylene Blue (R.B 18) + สารสกัดอบเชย (Cn)

ระยะเวลา 1 เดือน



ระยะเวลา 3 เดือน



ง) Safranin (Sa) + สารสกัดอบเชย (Cn)

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาวขวัญใจ นามมล
วัน เดือน ปีเกิด 8 ตุลาคม พ.ศ. 2544
ภูมิลำเนา อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการสำเร็จการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2566
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนพร้าววิทยาคม	พ.ศ. 2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพร้าววิทยาคม	พ.ศ. 2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเปียงหลวง	พ.ศ. 2556

ทุนการศึกษา ทุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นางสาวนิภา ทองพราว
วัน เดือน ปีเกิด 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการสำเร็จการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2566
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนปากเกร็ด	พ.ศ. 2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปากเกร็ด	พ.ศ. 2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านหนองพังพวย	พ.ศ. 2556

ทุนการศึกษา ทุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายจิรภัคร์ เทพประถม
วัน เดือน ปีเกิด 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการสำเร็จการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2566
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี	พ.ศ. 2558
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลยอดไม้งาม	พ.ศ. 2555

ทุนการศึกษา ทุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร