

การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหาร
โดยใช้การดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ

FEASIBILITY STUDY OF USING COMBINED VISIBLE LIGHT ABSORPTION AND
SIGNAL/IMAGE ANALYSIS TO ANALYZE CHEMICAL RESIDUES IN FOODS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหาร
โดยใช้การดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ

FEASIBILITY STUDY OF USING COMBINED VISIBLE LIGHT ABSORPTION AND
SIGNAL/IMAGE ANALYSIS TO ANALYZE CHEMICAL RESIDUES IN FOODS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF USING COMBINED VISIBLE LIGHT ABSORPTION AND
SIGNAL/IMAGE ANALYSIS TO ANALYZE CHEMICAL RESIDUES IN FOODS



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้การดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้
ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ

Feasibility Study of Using Combined Visible Light Absorption and Signal/Image
Analysis to Analyze Chemical Residues in Foods

ผู้จัดทำ

1. นางสาวเพ็ญพิชชา อรุณลาภ รหัสนักศึกษา 62010664
2. นางสาวยพภกร ปัญญาธัญพงษ์ รหัสนักศึกษา 62010750


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส)


หัวหน้าภาควิชา
(ผศ. ดร.เจษฎา ชัยโถม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหาร โดยใช้การดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ
ชื่อนักศึกษา	เพ็ญพิชชา อรุณลาภ ยพภกร ปัญญาธัญพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณและข้อมูลภาพ เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบที่ให้ผลรวดเร็วและสามารถเก็บรักษาหรือใช้งานได้สะดวกกว่าชุดทดสอบในห้องทดลอง โดยประยุกต์ใช้หลักการการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีกับสารเคมีตกค้าง 3 กลุ่ม ได้แก่ organophosphates, carbamates และ pyrethroids โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ได้แก่ ชนิดของคิวเวท (ได้แก่ คิวเวทพลาสติก คิวเวทควอตซ์) ชนิดของน้ำที่ใช้ในการสอบเทียบและในการเตรียมตัวอย่าง (ได้แก่ น้ำกรอง น้ำกลั่น และน้ำ HPLC grade) ศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ของสารละลายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สารละลายสีม่วง สารละลายต่าง ๆ ได้แก่ สารละลายคาร์บาริล รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการกับแบบพกพา ในการตรวจวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้าง (ได้แก่ dichlorvos, carbaryl และ cypermethrin) ในวัสดุทดสอบ (น้ำ HPLC grade) และอาหาร โดยตัวอย่างอาหารที่ทำการศึกษาทดสอบคือ น้ำส้มชนิดไม่ผสมเกลือรสส้ม และน้ำส้มชนิดผสมเกลือรสส้ม พิจารณาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ร่วมกับสีที่ปรากฏ และวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้แตกต่างกัน มีนัยสำคัญ โดยจะเปลี่ยนแปลงตามประเภทของสารเคมีตกค้าง ในการตรวจวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในน้ำ ค่าความสว่างของสีที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ในวัสดุทดสอบแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของสารเคมีตกค้าง ส่วนการตรวจวัดสารตกค้างในน้ำส้ม พบว่าแม่สีของสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะแตกต่างกับการตรวจวัดในวัสดุทดสอบ ซึ่งมีผลมาจากสีของน้ำส้มที่ยังหลงเหลือจากการสกัด แต่ยังคงสามารถใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างในการบ่งชี้ปริมาณสารตกค้างได้เช่นเดียวกัน

คำสำคัญ : สารเคมีตกค้าง, การดูดกลืนแสง, แสงที่มองเห็นได้, การประมวลผลสัญญาณ, การวิเคราะห์ภาพ

Project Title	Feasibility Study of Using Combined Visible Light Absorption and Signal/Image Analysis to Analyze Chemical Residues in Foods	
Students	Miss Penpiccha Aroonlap	Miss Yonprakorn Panyatanpong
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Maturada	Jinorose
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Academic Year	2022	

Abstract

This project studies the feasibility of detection and analysis of chemical residues in food using the visible light absorption combined with signal/image analysis to develop an inspection method that provides quick results that can be stored or used more conveniently than the test kits on the market. Applying the rule of color reaction testing, 3 groups of chemical residues, including organophosphates, carbamates and pyrethroids. Effects of type of cuvettes, type of water (for calibration and sample preparation) as well as the absorbance characteristics in the visible light wavelengths of different solutions (i.e., food coloring, potassium permanganate and carbaryl) were studied. The performance of the developed method, standard methods and portable spectrophotometers. were also being compared. Pesticide residues (i.e., dichlorvos, carbaryl and cypermethrin) in test materials (HPLC water) and food (i.e., orange juice without orange flakes and orange juice with orange flakes), were analyzed. The absorption characteristics of the wavelengths and the apparent color were analyzed. From the study it was found that the light absorption characteristics vary according to the type of residue. It was found that the brightness of the color analyzed in the test material was inversely proportional to the concentration of the chemical residue. In case of the measurement of residues in orange juice. It was found that although the color of the reactive substance differed from the result obtained from the test material. This is because of the residual color from the juice extraction. However, changes in brightness can still determine the residue content.

Keywords : Chemical Residues, Absorption, Visible Light, Signal Analysis, Image Analysis

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการดำเนินโครงการ ตลอดจนช่วยชี้แนะแก้ไขในสิ่งบกพร่อง และให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ คอยอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ ตลอดจนให้การสนับสนุนการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญานิพนธ์ นางสาวปิ่นปิ่นทร์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

เพ็ญพิชชา อรุณลาภ

ยพภกร ปัญญาธัญพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	IX
รายการสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สารเคมีตกค้างในอาหาร	3
2.1.1 สารเคมีกำจัดแมลง	3
2.1.1.1 ออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphates)	3
2.1.1.2 คาร์บาเมต (Carbamates)	5
2.1.1.3 ไพรีทรอยด์ (Pyrethroids)	6
2.1.1.4 ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorines)	8
2.2 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด	9
2.3 วิธีการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง	10
2.3.1 Spectrophotometry	10
2.4 การมองเห็นสีของมนุษย์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ระบบสี (Color Models)	12
2.5.1 ระบบ CIE xyY	12
2.5.2 ระบบ CIELAB	13
2.5.3 ระบบ RGB	14
2.6 ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย	14
2.6.1 แหล่งกำเนิดแสง	15
2.6.2 กล้องดิจิทัล	15
2.6.3 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	17
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.3 การศึกษาเบื้องต้น	19
3.4 ขั้นตอนการทำให้ปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารเคมีกำจัดแมลง	19
3.4.1 กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate)	19
3.4.2 กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate)	20
3.4.3 กลุ่มไพเรทรอยด์ (Pyrethroid)	20
3.5 ขั้นตอนการสกัดสารเคมีตกค้างในอาหาร	21
3.6 การวิเคราะห์ค่าสี	22
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	23
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของคิวเวทประเภทต่าง ๆ ต่อการดูดกลืนแสง	23
4.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดของน้ำที่ใช้ต่อการดูดกลืนแสง	24
4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นของ สารละลายต่าง ๆ	25
4.1.4 ผลการเปรียบเทียบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและสเปกโทรโฟโต มิเตอร์แบบพกพา	26
4.2 ผลการทดลอง	27
4.2.1 ผลการศึกษากราฟสเปกตรัมและสีที่ปรากฏของสารเคมีตกค้างที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสี	27
4.2.2 ผลการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในอาหาร	30
4.3 โปรแกรมวิเคราะห์สี	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดในอาหาร	46
ภาคผนวก ข ผลการทดลองเบื้องต้น	49
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	52
ภาคผนวก ง ชุดคำสั่งโปรแกรม	63
ภาคผนวก จ การคำนวณ	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในผักผลไม้	9
2.2 การมองเห็นสีและสีที่ถูกดูดซับของวัตถุ	12
4.1 สีที่ปรากฏของสารไตรคลอโรวอส คาร์บาริล และไซเพอร์เมทรินหลังการทำปฏิกิริยา	29
4.2 การตั้งค่าในกล้องถ่ายภาพ	36
ก.1 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด	46
ค.1 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของน้ำที่เป็นชุดควบคุม	53
ค.2 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มไตรคลอโรวอส	53
ค.3 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไตรคลอโรวอส	53
ค.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไตรคลอโรวอส	54
ค.5 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มคาร์บาริล	54
ค.6 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของคาร์บาริล	55
ค.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของคาร์บาริล	55
ค.8 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มไซเพอร์เมทริน	56
ค.9 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไซเพอร์เมทริน	56
ค.10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไซเพอร์เมทริน	57
ค.11 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไตรคลอโรวอสความเข้มข้น 0.2 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกลือดัดสีและผสมเกลือดัดสี	57
ค.12 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไตรคลอโรวอสที่สกัดจากน้ำส้ม	57
ค.13 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไตรคลอโรวอส 0.2 mg/kg	58
ค.14 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดคาร์บาริลความเข้มข้น 2 และ 7 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกลือดัดสี	58
ค.15 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดคาร์บาริลความเข้มข้น 2 และ 7 mg/kg จากน้ำส้มแบบผสมเกลือดัดสี	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.16 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของคาร์บาริลที่สกัดจากน้ำส้ม	59
ค.17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของคาร์บาริล	60
ค.18 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไซเพอร์เมทรินความเข้มข้น 0.3 และ 1 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกล็ดส้ม	60
ค.19 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไซเพอร์เมทรินความเข้มข้น 0.3 และ 1 mg/kg จากน้ำส้มแบบผสมเกล็ดส้ม	61
ค.20 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไซเพอร์เมทรินที่สกัดจากน้ำส้ม	61
ค.21 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไซเพอร์เมทริน	62
จ.1 ค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ของสารจากการทำปฏิกิริยาสีกลุ่มไดคลออร์วอส	69

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของออร์กาโนฟอสเฟต	4
2.2 โครงสร้างทางเคมีของไดคลอรวัวส	4
2.3 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาเมต	5
2.4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาริล	6
2.5 โครงสร้างทางเคมีของไพรีทรอยด์	7
2.6 โครงสร้างทางเคมีของไซเพอร์เมทริน	8
2.7 โครงสร้างทางเคมีของ DDT	8
2.8 CIE xyY chromaticity diagram.	13
2.9 CIELAB color model	13
2.10 RGB color cube	14
2.11 ชาร์ตการแสดงค่าอุณหภูมิพร้อมสีของหลอดไฟ	15
3.1 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	20
3.2 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มคาร์บาเมต	20
3.3 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มไพรีทรอยด์	21
3.4 สารละลายที่ได้จากการสกัด	21
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของต่างทับทิม 100 mg/L ที่ความยาวคลื่น 190-1100 nm ที่บรรจุในคิวเวทพลาสติกและคิวเวทควอตซ์	23
4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำกรอง น้ำกลั่น น้ำ DI และน้ำ HPLC grade ที่ความยาวคลื่น 380-950 nm	24
4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผงผสมอาหาร สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	25
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิมความเข้มข้น 60 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	26
4.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริล 6 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	26
4.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารไดคลอรวัวสที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	28
4.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคาร์บาริลที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.4, 1, 2, 4, 6 และ 8 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	28

สารบัญรูปลภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไซเพอร์เมทรินที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2 และ 2.5 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	29
4.9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไดคลอรวอส 0.2 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้มและมีเกล็ดส้ม ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	31
4.10 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไดคลอรวอส 0.2 mg/kg ที่ถูกสกัดจาก (ก) น้ำส้มไม่ผสมเกล็ดส้ม (ข) น้ำส้มผสมเกล็ดส้ม	32
4.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคาร์บาริล 2 mg/kg และ 7 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้ม น้ำส้มมีเกล็ดส้ม ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm	33
4.12 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารคาร์บาริลความเข้มข้น (ก) 0 mg/kg (ข) 2 mg/kg (ค) 7 mg/kg ที่ถูกสกัดจากน้ำส้มผสมเกล็ดส้ม	34
4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไซเพอร์เมทริน 0.3 mg/kg และ 1 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้มและแบบมีเกล็ดส้ม	35
4.14 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไซเพอร์เมทริน 1 mg/kg ที่ถูกสกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้ม (ก) การทดลองครั้งที่ 1 (ข) การทดลองครั้งที่ 2	36
4.15 ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์สี	37
ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพา	50
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพาที่ค่าการดูดกลืนแสงไม่เกิน 1.6	50
ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพาที่ค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1.6	51
ง.1 หน้าต่างแสดงหลังจากทำจากตัดรูป	66
จ.1 การหาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงจากค่าพิกัดสี (x,y)	68

รายการสัญลักษณ์

L^*	ค่าความสว่าง
a^*	ค่าสีแดงหรือสีเขียว
b^*	ค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
X	ค่าสีแดง
Y	ค่าสีเขียว
Z	ค่าสีน้ำเงิน
x	พิกัดสี x
y	พิกัดสี y



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้ามามีบทบาทสำคัญในการเกษตร เพื่อเพิ่มผลผลิตให้รวดเร็ว และเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นสารพิษอันตราย ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ ทางผิวหนัง และทางการกินจากระบบคลังข้อมูลสุขภาพของกระทรวงสาธารณสุขอัตราการป่วยจากพิษสารกำจัดศัตรูพืชในปี 2564 พบผู้ป่วยจากพิษสารกำจัดศัตรูพืชจำนวน 5,047 คน โดยมีสาเหตุจากสารกำจัดแมลงสูงเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ สารกำจัดวัชพืช และสารกำจัดศัตรูพืชอื่น ๆ ตามลำดับ (กระทรวงสาธารณสุข, 2564)

จากผลการสำรวจผักและผลไม้ประจำปี พ.ศ. 2563 ของเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่ามีผักและผลไม้ ที่พบสารเคมีตกค้างเกินมาตรฐานมากถึงร้อยละ 58.7 ได้แก่ มะเขือเทศ ผลเล็ก พริกขี้หนู พริกแดง ขึ้นฉ่าย คื่นช่าย องุ่นแดงนอก พุทราจีน ส้มสายน้ำผึ้ง ฝรั่ง แก้วมังกร และน้อยหน่า (เครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดศัตรูพืช, 2563) และในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 เครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดศัตรูพืชร่วมกับมูลนิธิเพื่อผู้บริโภคทำการสำรวจส้มและน้ำส้มในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่วางขายตามท้องตลาด พบส้มที่มีสารเคมีตกค้างเกินค่ามาตรฐาน 57 ตัวอย่างจาก 60 ตัวอย่าง ส่วนน้ำส้มพบ 5 ตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างจาก 10 ตัวอย่าง (เครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดศัตรูพืช, 2565) สารกำจัดแมลงจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) คาร์บาเมต (Carbamate) ไพรีทรอยด์ (Pyrethroid) และออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine) ซึ่งหากได้รับเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในอาหารมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การใช้วิธีในห้องปฏิบัติการ เช่น Gas Chromatography/Mass Spectrometry, Liquid Chromatography/Mass Spectrometry, High Performance Liquid Chromatography เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ ราคาค่อนข้างสูง และไม่สามารถใช้ในการตรวจสอบในภาคสนามได้ นักวิจัยจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการตรวจสอบที่ได้มาตรฐานเพื่อใช้ในการคัดกรองคุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ชุดทดสอบ (test kit) ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาและอายุการใช้งานเนื่องจากการใช้เอนไซม์ โดยในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในอาหารโดยประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การใช้รามานสเปกโตรมิเตอร์ร่วมกับการเก็บตัวอย่างด้วยเทป (Xingying et al., 2019) ซึ่งมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือที่มีราคาสูง การใช้อนุภาคทองคำนาโน (Jingyang et al., 2021) ซึ่งมีขั้นตอนที่ซับซ้อน

ต่อมานักวิจัยได้มีการศึกษาวิธีการตรวจหาสารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้หลักการสเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry) Brito et al. (2002) ได้ทำการตรวจหาสารเคมีตกค้างในน้ำมะพร้าวโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของแข็งและโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงร่วมกับการตรวจจับในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสารเคมีตกค้างตรวจพบที่ความยาวคลื่น 254 nm และ Tafreshi et. al. (2020) ทำการตรวจจับสารกำจัดศัตรูพืชด้วยสารเรืองแสงที่มีความไวสูงในตัวอย่างจริงโดยใช้จุดคาร์บอนสีเขียว ซึ่งวิธีการที่ได้กล่าวไปข้างต้นเป็นวิธีการที่ต้องใช้การตรวจสอบในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ และในท้องตลาดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่วัดในช่วงอัลตราไวโอเล็ตมีราคาสูงกว่าเครื่องที่วัดในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ ดังนั้นจึงนำมาสู่การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในอาหาร โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงร่วมกับเทคนิควิเคราะห์สัญญาณและข้อมูลภาพในช่วงแสงที่ตามองเห็น เพื่อใช้เป็นวิธีการคัดกรองเบื้องต้นที่ให้ความสะดวกรวดเร็วต่อผู้ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณและข้อมูลภาพ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ โดยวิเคราะห์กราฟสเปกตรัมและสัญญาณภาพของสารละลาย โดยตรวจสอบสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และไพรีทรอยด์
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในตัวอย่างอาหารในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการตรวจสอบหาสารเคมีตกค้างในอาหารเบื้องต้นในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แบบพกพาที่สามารถประมวลผลได้ในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ เพื่อให้สะดวกต่อการตรวจสอบแบบลงพื้นที่มากที่สุด

บทที่ 2

พิษวิทยาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคมีตกค้างในอาหาร

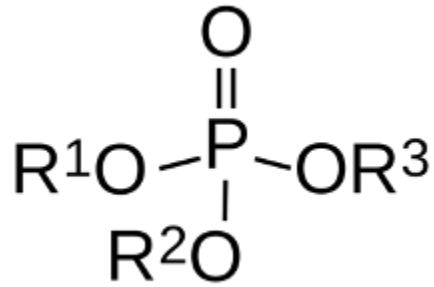
สารเคมีตกค้างในอาหารสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่การเพาะปลูก เก็บเกี่ยว ขนส่ง หรือแม้กระทั่งติดมากับดิน น้ำ สิ่งแวดล้อม ทั้งยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา รวมถึงสารปรุงแต่ง และอีกมากมายที่หากร่างกายได้รับอย่างต่อเนื่องอาจเกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ โดยสามารถแบ่งสารเคมีปนเปื้อนในอาหารออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ได้แก่ สารเคมีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารพิษจากเชื้อรา สารพิษจากพืช เป็นต้น สารเคมีที่เติมลงในอาหารโดยเจตนา เช่น สารปรุงแต่งอาหาร วัตถุเจือปนในอาหาร เป็นต้น และสารเคมีที่เติมลงในอาหารโดยไม่ได้เจตนาหรือเกิดขึ้นโดยบังเอิญ เช่น สารเคมีทำความสะอาด โลหะจากหมึกพิมพ์ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนมาจากการเพาะปลูก เป็นต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2563)

2.1.1 สารเคมีกำจัดแมลง

สารกำจัดแมลงที่พบมากในอาหารแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต ไพรีทรอยด์ และออร์กาโนคลอรีน โดยสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน เป็นสารที่ถูกกระงับการใช้งานมานานกว่า 10 ปี และมีการออกกฎหมายห้ามจำหน่ายและมีไว้ในครอบครอง ถูกจัดอยู่ในวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

2.1.1.1 ออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphates)

ออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphates) เป็นสารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification reaction) มีโครงสร้างทางเคมีเป็นเอสเทอร์ (ester) ของ phosphoric acid (H_3PO_4) ซึ่งมักเรียกว่าออร์กาโนฟอสฟอรัส (organophosphorus) หรือฟอสฟอรัสเอสเทอร์ (phosphorus ester) โดยโครงสร้างของฟอสฟอรัสเอสเทอร์ (phosphorus ester) จะประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน คาร์บอน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ติดอยู่กับอะตอมของฟอสฟอรัส ทำให้เกิดความหลากหลายในการเรียกชื่อ ตัวอย่างชื่อทางเคมีของออร์กาโนฟอสเฟต เช่น phosphate, phosphorothioate, phosphoro-dithioate, phosphonate และ phosphoramidate เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของออร์กาโนฟอสเฟต (Snubcube, 2010)

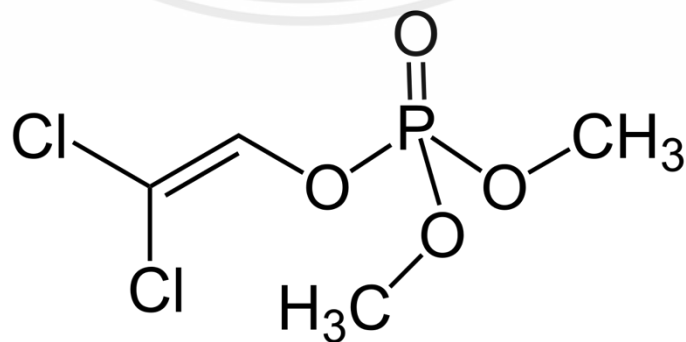
ความเป็นพิษ สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสามารถถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังและระบบทางเดินอาหารได้ดี อีกทั้งยังละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงมีความสามารถกระจายตัวได้ดีในส่วนที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ เช่น ระบบประสาท ตับ รวมไปถึงไขมันในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ออร์กาโนฟอสเฟตจะถูกเผาผลาญที่ตับและถูกขับออกทางไต

กลไกการเกิดพิษ ออร์กาโนฟอสเฟตจะถูกเผาผลาญด้วย microsomal enzyme กลายเป็น active metabolize โดยเปลี่ยนโมเลกุลของซัลเฟอร์ไปเป็น oxygen metabolize ออกฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของ acetylcholinesterase enzyme (AChE) acetylcholine (ACh) ที่เป็นสารสื่อประสาท ออร์กาโนฟอสเฟตจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของ AChE ทำให้เกิดการสะสมของ ACh ซึ่งจะทำให้เกิดอาการและภาวะเป็นพิษจากออร์กาโนฟอสเฟตนั่นเอง นอกจากนี้ออร์กาโนฟอสเฟตยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ตัวอื่น ๆ ได้ เช่น neurotoxic esterase ซึ่งทำให้เกิดอาการพิษเรื้อรังทางระบบประสาท (Ramathibodi Poison Center, 2021)

ไดคลอรวอส (dichlorvos)

สูตรโมเลกุล : $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}_2\text{O}_4\text{P}$

IUPAC NAME : 2,2-Dichlorovinyl dimethyl phosphate



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไดคลอรวอส (Ju, 2010)

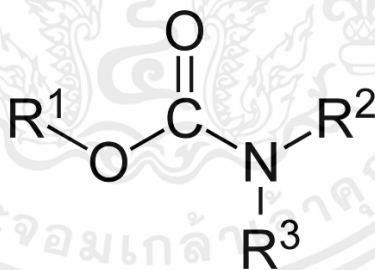
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดคลอรวอส (dichlorvos) เป็นชื่อทางการค้า และเป็นสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต นิยมใช้กำจัดแมลงในครัวเรือนและการเกษตร พบได้ใน ส้ม กล้วยไม้ นม เนื้อสัตว์ปีก เป็นต้น ไดคลอรวอสสามารถดูดซึมได้ทางผิวหนัง การหายใจ การกิน ออกฤทธิ์โดยยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ acetylcholinesterase (AChE) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการส่งกระแสประสาท จึงก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เหงื่อออกมากผิดปกติ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง สูญเสียการมองเห็น โคม่า ไปจนถึงเสียชีวิตได้ (Okoroiwu and Iwara, 2018)

2.1.1.2 คาร์บาเมต (Carbamates)

คาร์บาเมต (carbamates) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในทางเกษตรกรรม เป็นสารที่มีพิษค่อนข้างรุนแรง ออกฤทธิ์กว้าง บางชนิดสามารถถูกดูดซึมผ่านเข้าทางราก ใบ และสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชได้ มีฤทธิ์ร้ายแรงต่อแมลงศัตรูพืช ซึ่งส่งผลให้สามารถส่งต่อพิษเหล่านี้มาสู่ผู้บริโภคได้

คาร์บาเมตมีโครงสร้างและกลไกการออกฤทธิ์คล้ายกับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต สารกลุ่มนี้เกิดจาก N- N-methyl carbamate ซึ่งได้มาจากกรดคาร์บาเมตและเกิดร่วมกับปฏิกิริยา คาร์บาไมเลชันของ acetylcholinesterase ที่ไซแนปส์ของเซลล์ประสาททางแยกของประสาทและกล้ามเนื้อ ในขณะที่เดียวกันก็ยังมีกลไกการทำงานที่คล้ายคลึงกับ acetylcholinesterase นอกจากนั้นคาร์บาเมตยังมีพิษวิทยาที่คล้ายคลึงกับกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ตัวอย่างเช่น carbofuran carbaryl trimethacarb เป็นต้น (Silberman and Taylor, 2018)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาเมต (Mills, 2009)

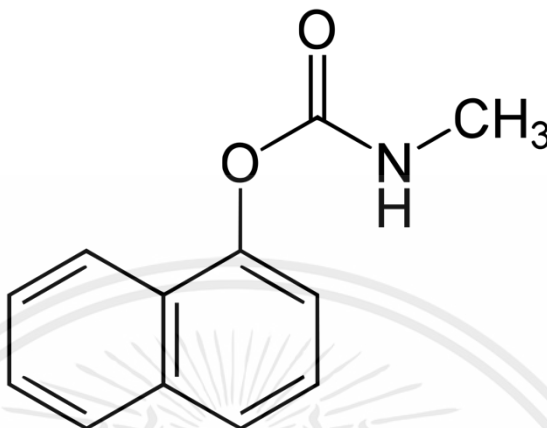
ความเป็นพิษ คาร์บาเมตถูกดูดซึมได้ดีทั้งจากผิวหนัง ดวงตา ทางเดินหายใจและทางเดินอาหาร มักพบการสะสมหลักที่เนื้อเยื่อไขมัน การเมตาบอลิซึมนี้เกิดขึ้นที่ตับและสารที่ถูกเมตาบอลิท์แล้วจะสามารถขับออกได้ทางปัสสาวะ สลายตัวได้เร็ว จึงไม่พบสารกลุ่มนี้สะสมในร่างกายของมนุษย์

กลไกการเกิดพิษ มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ acetylcholinesterase ในระบบประสาท คล้ายกับออร์กาโนฟอสเฟต แต่แตกต่างกันที่คาร์บาเมตจะยับยั้งแบบ reversible ดังนั้นอาการของโรคที่เกิดจากคาร์บาเมตจะรุนแรงน้อยกว่า (Ramathibodi Poison Center, 2021)

คาร์บาริล (carbaryl)

สูตรโมเลกุล : $C_{12}H_{11}NO_2$

IUPAC NAME : 1-Naphthyl methylcarbamate



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาริล (Yikrazuul, 2009)

คาร์บาริล ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารกำจัดแมลงคาร์บาเมต มักใช้งานเป็นยากำจัดแมลงเป็นจำนวนมาก พบได้ในส้ม ข้าวโพด ถั่วเหลือง เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้กับสัตว์ปีก ปศุสัตว์ และสัตว์เลี้ยง เพื่อกำจัดแมลงรบกวนอีกด้วย โดยคาร์บาริลนั้นจัดเป็นสารมีพิษปานกลาง กลไกการออกฤทธิ์เหมือนคล้ายกับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยสามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนัง การหายใจและการกินได้ หากได้รับคาร์บาริลเข้าไปจะก่อให้เกิดอาการระคายเคืองตา ปวดศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนแรงจนเป็นตะคริว และภาวะไม่ย่อยอาหารได้ (United States Environmental Protection Agency, 2000)

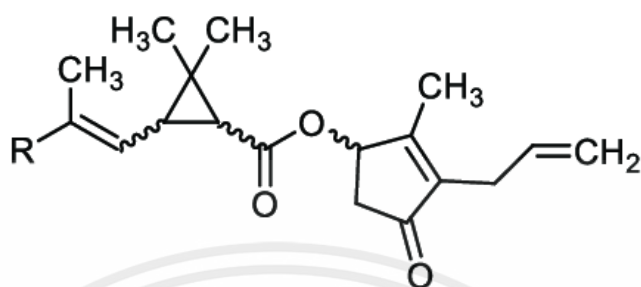
2.1.1.3 ไพรีทรอยด์ (Pyrethroids)

ไพรีทรอยด์ (pyrethroids) เป็นสารกำจัดแมลงที่เกิดจากการสังเคราะห์ให้มีคุณสมบัติเหมือนกับสารกลุ่มไพรีทริน (pyrethrins) แต่ความคงตัวสูงกว่า ไม่สลายตัวง่ายเหมือนไพรีทริน อีกทั้งยังมีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรือผู้คนในระดับที่ต่ำเมื่อเทียบกับสารกำจัดแมลงกลุ่มอื่น ๆ ทำให้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการเกษตร และก้าวขึ้นมาเป็นกลุ่มสารกำจัดแมลงอันดับต้นๆรวมไปถึงใช้ทดแทนออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมตอีกด้วย แต่เมื่อไพรีทรอยด์ได้มีการหมุนเวียนผ่านทางน้ำ อากาศ และดินแล้วนั้นกลับส่งผลให้เกิดผลเสีย และอันตรายต่อสุขภาพของผู้คนได้ โดยสามารถแบ่งไพรีทรอยด์ได้ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. สารไพรีทรอยด์กลุ่มที่ 1 (Type I pyrethroid) เช่น allethrin, bifenthrin, permethrin และ tetramethrin เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารไพรีทรอยด์กลุ่มที่ 2 (Type II pyrethroid) เช่น cyfluthrin, cypermethrin, deltamethrin และ talomethrin เป็นต้น โดยสารในกลุ่มนี้จะมีไซยาไนด์ (cyanide, CN) อยู่ในสูตรโครงสร้างทำให้มีความเป็นพิษสูงมากกว่ากลุ่มแรก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของไพรีทรอยด์ (Hassaan and Nemr, 2020)

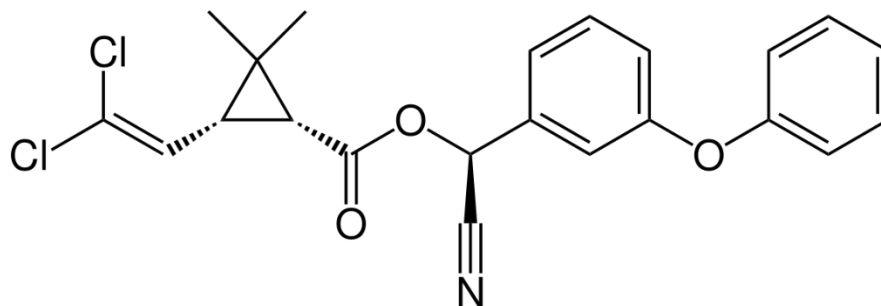
ความเป็นพิษ ไพรีทรอยด์ดูดซึมได้ดีในทางเดินอาหาร สามารถแพร่กระจายไปสู่เนื้อเยื่อส่วนอื่นได้เป็นอย่างดี ส่วนมากจะพบในเนื้อเยื่อที่มีไขมันสูง เช่น ระบบประสาทส่วนกลาง เนื้อเยื่อไขมัน ตับและไต เป็นหลัก การเปลี่ยนรูปของสารกลุ่มนี้ในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วด้วยเอนไซม์ plasma esterase และปฏิกิริยา oxidation ซึ่งเมตาบอไลต์ที่เกิดขึ้นจะจับกับ glucuronic acid แล้วละลายน้ำได้ดีขึ้น ทำให้ขับออกทางปัสสาวะได้ (Tang et al., 2017)

กลไกการเกิดพิษ สารกลุ่มไพรีทรอยด์จะรบกวนการทำงานของ neuronal voltage sensitive sodium channels โดยมีผลให้การปิดของ sodium channel เกิดขึ้นช้าลง ซึ่งการยืดระยะเวลาเข้าสู่เซลล์ของโซเดียมไอออน ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ลดลง เกิด hyperexcitability ของเซลล์ โดยที่ระยะเวลาในการออกฤทธิ์ของสารกลุ่ม Type II pyrethroid จะยาวนานกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่ม Type I pyrethroid

ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)

สูตรโมเลกุล : $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$

IUPAC NAME : [Cyano-(3-phenoxyphenyl)methyl]3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate

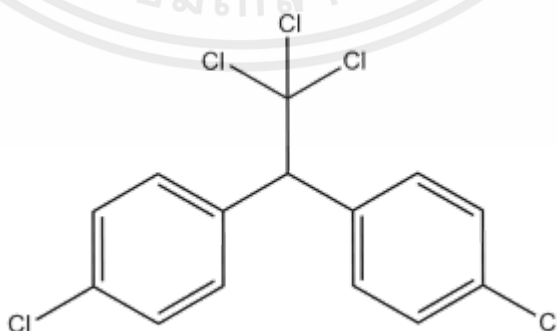


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของไซเพอร์เมทริน (Derksen, 2007)

ไซเพอร์เมทริน เป็นสารกำจัดแมลงในกลุ่มของไพรีทรอยด์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อให้ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้มากกว่าไพรีทริน มักใช้งานในครัวเรือนและการเกษตร เช่น กำจัดยุง แมลงสาบ เ็บ หมีด เป็นต้น สามารถดูดซึมได้การหายใจ และการกินเป็นหลัก ออกฤทธิ์รบกวนระบบประสาท ทำให้สมองทำงานช้าลง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น (Shilpakar and KarKi, 2012)

2.1.1.4 ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorines)

ออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) เป็นสารเคมีกลุ่มคลอรีนที่มีความหลากหลายในองค์ประกอบของไฮโดรเจน คาร์บอนและคลอรีน ซึ่งในปัจจุบันสารเคมีในกลุ่มนี้ถูกกระงับการใช้งานมานานกว่า 10 ปี อันเนื่องมาจากความอันตราย ความเป็นพิษ และอัตราการตกค้างสะสมเป็นเวลานาน อีกทั้งออร์กาโนคลอรีนนั้นมีคุณสมบัติในการละลายในไขมันได้ดีมาก สลายตัวได้ช้า จึงยังทำให้พบการสะสมตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน เพิ่มความเสี่ยงในการปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารอย่างมาก ออร์กาโนคลอรีนสามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่ม diphenyl aliphatic compound กลุ่ม hexachlorocyclohexane และกลุ่ม cyclodienes (Jayaraj, R. et al., 2016)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของ DDT (Biomonitoring California, 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษ สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีความสามารถในการละลายได้ดีในไขมัน ทำให้ดูดซึมผ่านทางผิวหนังและเยื่อเมือกได้ดี เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสามารถกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ตรวจพบได้จากตับ ไต และสมอง ร่วมกับการสะสมที่เนื้อเยื่อไขมัน การเมตาบอลิซึมของสารกลุ่มนี้เกิดจากเอนไซม์ mixed function oxidase ที่ตับ ได้เมตาบอไลต์ที่มีความเป็นพิษที่สูงขึ้น การกำจัดสารนี้ออกจากร่างกายจะผ่านทางน้ำดีออกทางระบบทางเดินอาหาร แต่เนื่องด้วยการเกิด enterohepatic recycling ของน้ำดีจะส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนของสารกลุ่มนี้ในร่างกายนานมากขึ้น นอกจากนั้นสารกลุ่มนี้ยังสามารถขับผ่านทางน้ำนมได้อีกด้วย

2.2 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด

ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (maximum residue limit for pesticide; MRLs) หมายถึง ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในอาหาร อันเนื่องมาจากการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสารพิษตกค้างต่อกิโลกรัมอาหาร (mg/kg) กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในผักผลไม้

วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg)	
	ต่ำสุด	สูงสุด
คาร์บาริล (carbaryl)	1 (ลั่นจี่ เงาะ แตงโม ผักตระกูลกะหล่ำ มะพร้าว มังคุด)	30 (ทุเรียน)
คาร์โบซัลแฟน (carbosulfan)	0.02 (หน่อไม้ฝรั่ง ทุเรียน ส้ม มะพร้าว องุ่น)	5 (พริกแห้ง)
ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	0.01 (หอมหัวใหญ่)	10 (พริกแห้ง)
เดลตาเมทริน (deltamethrin)	0.01 (สับปะรด)	2 (ผักกวางตุ้ง ผักกาดขาว ผักคะน้า)
ไดคลอร์วอส (dichlorvos)		0.2 (ส้ม)

(กระทรวงสาธารณสุข, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีตกค้างในอาหารเพื่อตรวจสอบและควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคตามมาตรฐานกำหนด จะใช้การตรวจสอบด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ เช่น การใช้เทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) Liquid Chromatography/Mass Spectrometry (LC/MS) Thin-layer Chromatography (TLC) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถระบุชนิดและปริมาณสารเคมีตกค้างในอาหารได้อย่างละเอียดและแม่นยำ เป็นวิธีมาตรฐานที่ทั่วโลกให้การยอมรับ จึงจำเป็นต้องใช้บุคลากรหรือผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และอุปกรณ์ที่มีราคาสูง ส่งผลให้ค่าการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งมีราคาสูงตามไปด้วย และเนื่องจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่มีความละเอียดทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ต่อมานักวิจัยจึงได้มีการพัฒนาชุดทดสอบสารเคมีตกค้างในอาหารออกมาสู่ท้องตลาด เพื่อใช้ในการตรวจสอบและคัดกรองเบื้องต้นในภาคสนาม GT-test kit ใช้หลักการการเปลี่ยนสีของสาร (Colorimetric) จากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาเนื่องจากเอนไซม์มีอายุการใช้งานที่สั้น และชุดทดสอบสามารถบ่งชี้ได้เพียงระดับความปลอดภัยของอาหาร จึงได้มีการพัฒนาปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีได้โดยไม่ใช้เอนไซม์เพื่อลดข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษา ปารีชาติ ภูมิเทศ (2554) ได้ทำการตรวจหาสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ สารคลอร์ไพริฟอสและมาลาไทออน โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่าง 4-(4-nitrobenzyl)pyridine ที่จะเข้าไปจับตรงตำแหน่งฟอสเฟตของโครงสร้างสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต หากตรวจพบสารละลายจะกลายเป็นสีม่วง พนิดา ไชยยันต์บุรณ์ (2560) ได้ทำการตรวจหาสารกลุ่มคาร์บาเมตในพริก โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารกลุ่มคาร์บาเมตกับสารพาราไนโตรอะนิลีนในสภาวะเบสที่เหมาะสม หากตรวจพบสารละลายจะกลายเป็นสีม่วง Kaur et al. (2021) ได้ทำการตรวจหาสารกลุ่มไพรีทรอยด์ในมุ้งกันแมลงชุบสารเคมี โดยใช้หลักการการตรวจจับไซยาไนด์ไอออนที่ถูกปล่อยออกจากสารไพรีทรอยด์ หากตรวจพบสารละลายจะกลายเป็นสีส้มแดง

2.3.1 Spectrophotometry

สเปกโทรสโกปี (spectroscopy) เป็นการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของแสงกับสาร โดยการสังเกตว่าแสงมีปฏิสัมพันธ์กับสารอย่างไร ผ่านการสะท้อน การหักเห การกระเจิง และการดูดกลืนแสง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของสเปกโทรโฟโตเมตรี (Morris, 2015)

สเปกโทรโฟโตเมตรี (spectrophotometry) เป็นการศึกษาคุณสมบัติการสะท้อน (reflection) และการส่องผ่าน (transmission) ขององค์ประกอบในสารในรูปแบบของความยาวคลื่น หลักการทำงาน คือ เมื่อลำแสงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกันผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน

บางส่วนสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนผ่านทะลุออกไป ถ้าแสงที่ทะลุออกไปนั้นเข้าเครื่องกระจายแสงจะเห็นว่าสเปกตรัมส่วนหนึ่งหายไป ส่วนที่หายไปเรียกว่า Absorption Spectrum

การวัดการดูดกลืนแสงของสาร สามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างแล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมาโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่างดังสมการที่ 2.1

$$A = \epsilon bc = \log \frac{P_0}{P} \quad (2.1)$$

A = ค่าการดูดกลืน

ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (Molar Absorptivity)

b = ความกว้างของเซลล์ หน่วย เซนติเมตร

c = ความเข้มข้น หน่วย โมล/ลิตร

P_0 = ความเข้มแสงเมื่อเริ่มตกระทบ

P = ความเข้มแสงหลังผ่านตัวกลาง

ถ้าในกรณีที่ความเข้มข้นเป็นหน่วย กรัม/ลิตร หรือหน่วยอื่นให้เขียนเป็น

$$A = abc \quad (2.2)$$

a = แอบซอร์ปติวิตี (Absorptivity) เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารและความยาวคลื่น

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 เป็นกฎของเบียร์ (Beer's law) หรือกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's law) ซึ่งกล่าวได้ว่า ค่าการดูดกลืนของสารละลายจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้น

2.4 การมองเห็นสีของมนุษย์

ไอแซก นิวตัน กล่าวว่า วัตถุที่เราเห็นไม่ได้มีสีอย่างที่เรารู้ แต่สีที่เราเห็นคือสีที่ผิววัตถุนั้นสะท้อนออกมา ซึ่งหมายถึงเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกระทบผิวของวัตถุมีสี แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยสีและแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนนั้นจะสะท้อนออกจากผิวของวัตถุสู่ตาของเรา โดยการดูดกลืนแสงของสีจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและลักษณะของสีแต่ละชนิด หากเห็นวัตถุเป็นสีขาวแสดงว่าวัตถุไม่มีการดูดกลืนแสง แสงมีการสะท้อนออกมาทั้งหมด แต่ถ้าหากมองเห็นเป็นสีดำแสดงว่าวัตถุมีการดูดกลืนแสงเอาไว้ทั้งหมด (Plook, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การมองเห็นสีและสีที่ถูกดูดซับของวัตถุ

ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน (นาโนเมตร)	แสงที่ถูกดูดกลืน	สีที่เรามองเห็น
400-435	ม่วง	เขียวอมเหลือง
435-480	น้ำเงิน	เหลือง
480-490	น้ำเงินอมเขียว	ส้ม
490-500	เขียวอมน้ำเงิน	แดง
500-560	เขียว	ม่วงแดง
560-580	เขียวอมเหลือง	ม่วง
580-595	เหลือง	น้ำเงิน
595-605	ส้ม	น้ำเงินอมเขียว
605-700	แดง	เขียวอมน้ำเงิน

(Corning, 2019)

2.5 ระบบสี (Color Models)

ระบบสีเป็นการกำหนดคุณสมบัติของสีด้วยวิธีมาตรฐานที่ยอมรับโดยทั่วไป โดยพื้นฐานระบบสีคือ ข้อมูลจำเพาะของระบบพิกัดและพื้นที่ย่อยภายในระบบนั้นซึ่งแต่ละสีจะแสดงเพียงจุดเดียว (Gonzalez and Wood, 2008) ระบบสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีดังนี้

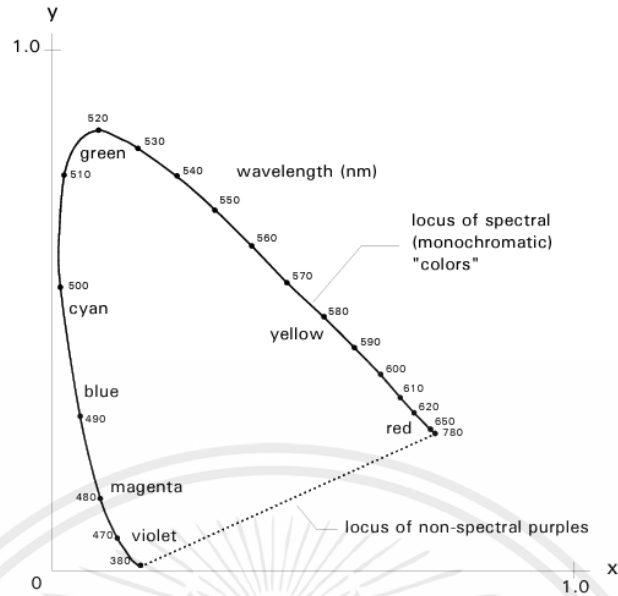
2.5.1 ระบบ CIE xyY

เป็นโมเดลสีที่กำหนดตำแหน่งสีลงบนแผนภาพแสดงสีซึ่งได้มาจากค่าสีระบบ CIE XYZ แปลงให้อยู่ในรูปคู่ลำดับแสดงสี chromaticity coordinates (x,y) ได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2.3)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2.4)$$

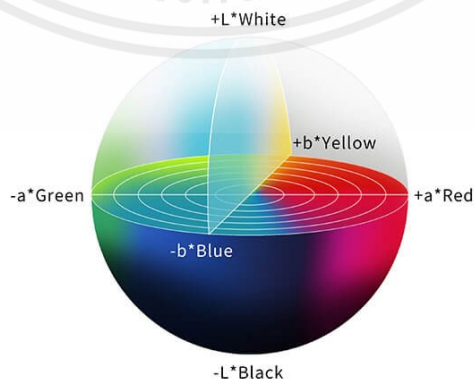
เราสามารถนำพิกัด (x,y) ที่ได้ไปหาตำแหน่งสีของวัตถุบนแผนภาพที่เรียกว่า CIE chromaticity diagram ดังรูปที่ 2.8 เป็นแผนภาพคล้ายเกือกม้า ประกอบด้วย locus of spectral (monochromatic) และ locus of non-spectral purples (Kerr D. A., 2010)



รูปที่ 2.8 CIE xyY chromaticity diagram (Meslouhi, 2011)

2.5.2 ระบบ CIELAB

เป็นโมเดลสีที่องค์กร International Commission on Illumination (CIE) ได้ทำการพัฒนา มาจาก CIE 1931 XYZ เพื่อให้การสื่อสารด้วยสีผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ง่ายขึ้น เป็นระบบที่ไม่มีลักษณะพิเศษ สามารถใช้งานได้อย่างอิสระ ส่งผลให้องค์กรในหลายอุตสาหกรรมใช้ระบบสีนี้ในการควบคุมและ กำหนดขอบเขตมาตรฐานของสี ระบบ CIELAB ประกอบด้วยค่า L^* แสดงถึงความสว่างจากสีดำเป็นสีขาวในระดับ 0 ถึง 100 ในขณะที่ a^* และ b^* แสดงถึงความเข้มของสี โดยค่า a^* เป็นลบตรงกับสีเขียว ค่า a^* เป็นบวกตรงกับสีแดง ค่า b^* เป็นลบตรงกับสีน้ำเงิน และค่า b^* เป็นบวกตรงกับสีเหลือง (Phillips, 2023)

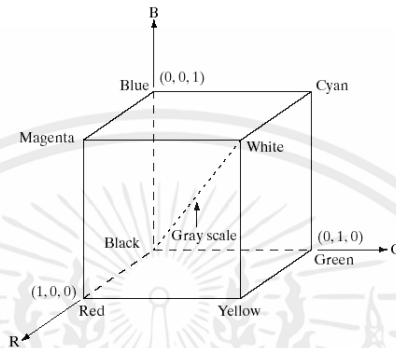


รูปที่ 2.9 CIELAB color model (Linshang Technology, 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ระบบ RGB

เป็นโมเดลที่ส่วนใหญ่ถูกใช้ประมวลผลในทางปฏิบัติ สำหรับจอภาพสีและกล้องวิดีโอสี ซึ่งประกอบด้วยสีหลัก ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ตามระบบพิกัดคาร์ทีเซียนแสดงเป็นลูกบาศก์ดังรูปที่ โดยสีหลัก (RGB) จะอยู่ที่แกนหลัก 3 แกน สีรองจะอยู่ที่อีก 3 มุม ประกอบด้วยสีฟ้าอมเขียว (cyan) สีม่วงแดง (magenta) และสีเหลือง (yellow) สีดำอยู่ที่จุดกำเนิด ส่วนสีขาวจะอยู่ตรงข้ามกับจุดกำเนิด (Gonzalez and Wood, 2008)



รูปที่ 2.10 RGB color cube (Gonzalez and Wood, 2008)

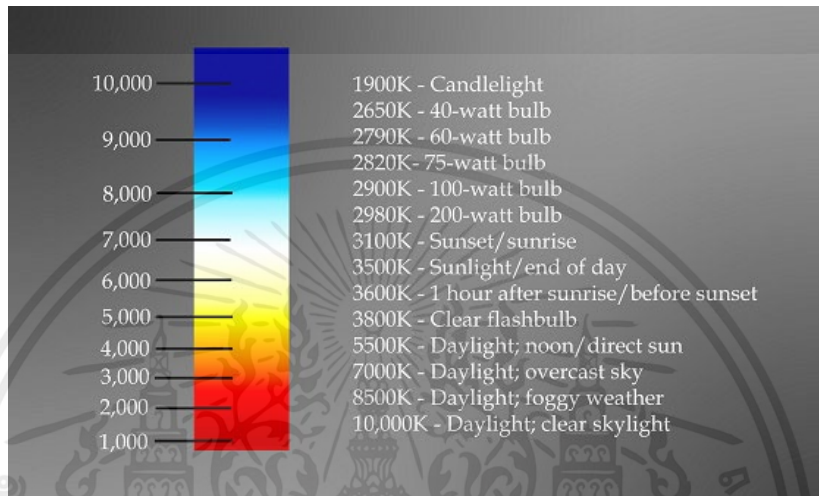
2.6 ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเป็นวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาจากพื้นฐานทางทฤษฎีและอัลกอริทึม เพื่อให้สามารถดึงเอาข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับวัตถุ หรือ ฉาก ให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยอัตโนมัติจาก ภาพที่มองเห็น ชุดภาพ หรือลำดับภาพ เป็นต้น

ระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายถูกนำมาใช้งานในวงการอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบและรับประกันคุณภาพ รวมไปถึงใช้เป็นวิธีการตรวจสอบแทนมนุษย์ในหลายๆด้านได้ด้วย ทำให้ในปัจจุบันการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์นั้นกำลังได้รับการพัฒนาให้เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการตรวจสอบต่าง ๆ ในระบบโรงงานอาหารแบบออนไลน์เรียลไทม์นั่นเอง (Sundaram Gunasekaran, 1996) โดยอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานในระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย จะประกอบไปด้วย กล้องดิจิทัล หรือกล้องวิดีโอสำหรับดึงข้อมูลภาพ แหล่งกำเนิดแสง และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ภาพ

2.6.1 แหล่งกำเนิดแสง

ทั่วไปมักนิยมใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภทแสงแดดตอนกลางวัน หรือ เดย์ไลท์ (day light) ที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 5000 – 6500 เคลวิน เพราะจะให้โทนสีที่ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ (แสงขาว) เจดสีขาวยอมฟ้า ไม่ติดส้ม ไม่ทำให้สีของวัตถุที่สะท้อนกลับมาผิดเพี้ยน อีกทั้งยังให้ค่าความสว่าง Lumen สูงที่สุด ทำให้มองเห็นวัตถุต่าง ๆ ได้ชัดเจน ไม่หลอกตา



รูปที่ 2.11 ชาร์ตการแสดงค่าอุณหภูมิพร้อมสีของหลอดไฟ (Eneltec, 2021)

2.6.2 กล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลที่ใช้สำหรับเก็บภาพข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีความหลากหลาย ขึ้นกับฟังก์ชันการใช้งานตามแต่ละรุ่นของกล้อง โดยกล้องแต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อจะให้ประสิทธิภาพของการถ่ายภาพ และคุณภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดตั้งกล้องที่จะใช้ในระบบการวิเคราะห์เชิงถ่ายภาพ ตามตัวแปรต่าง ๆ อาทิเช่น ระยะห่างระหว่างกล้องกับพื้นหลัง ระยะโฟกัส ความสามารถของรูรับแสง ความไวแสง ISO และความเร็วชัตเตอร์

2.6.3 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย

ในการประมวลผลเบื้องต้น มักใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการทำการวิเคราะห์ มีหลากหลายแบบ แต่โดยส่วนมากนิยมใช้ MATLAB หรือ Adobe Photoshop ในการวิเคราะห์สีของภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำปฏิกิริยาให้เกิดสีเพื่อตรวจหาสารเคมีตกค้างกลุ่มต่าง ๆ เช่น การตรวจหาสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่าง 4-(4-nitrobenzyl)pyridine ที่เข้าไปจับตรงตำแหน่งฟอสเฟตของโครงสร้างสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีม่วง (ปาริชาติ, 2554) การตรวจหาสารกลุ่มคาร์บาเมตโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารกลุ่มคาร์บาเมตกับสารพาราไนโตรอะนิลีนในสภาวะเบสที่เหมาะสมเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีม่วง (พนิดา, 2560) และการตรวจหาสารกลุ่มไพรีทรอยด์ในมุ้งกันแมลงชุบสารเคมี โดยใช้หลักการตรวจจับไซยาไนด์ไอออนที่ถูกปล่อยออกจากสารไพรีทรอยด์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีส้มแดง (Kaur, 2021) ซึ่งสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น

การวิเคราะห์สีของสารละลายจากการทำปฏิกิริยาด้วยภาพถ่าย จากงานวิจัยของ Sumriddetchkajorn et al. (2013) ทำการวัดความเข้มของสีเพื่อตรวจสอบปริมาณคลอรีนในน้ำด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยใช้ฉากอ้างอิงและขวดใสจัดวางให้พอดีกับมุมกล้อง นำน้ำที่ต้องการตรวจสอบปริมาณคลอรีนทำปฏิกิริยาเคมีให้เปลี่ยนสีใส่ลงในขวดใส นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ค่าสีระบบ RGB และนำไปหาอัตราส่วนระหว่างฉากอ้างอิงและน้ำในขวดใสแล้วนำไปวิเคราะห์ร่วมกับความเข้มข้นของปริมาณคลอรีนในน้ำ และได้ทำการศึกษาระยะห่างระหว่างกล้องและฉากอ้างอิงพบว่า ระยะห่าง 12 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 7

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA)
2. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Go Direct[®] SpectroVis[®] Plus, Vernier, USA)
3. กล้องดิจิทัล (IXUS 175, Canon, Japan)
4. กล้องถ่ายภาพ (MK40, Sanoto, China)
5. ตู้ดูดควัน (fume hood) (DC LAB, Thailand)
6. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Mikro 220r, Hettich, Germany)
7. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (OHAUS, USA)
8. คิวเวทควอตซ์ (quartz cuvette) (Starna scientific, UK)
9. คิวเวทพลาสติก (plastic cuvette)
10. ขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) 25 มิลลิลิตร
11. กระจกบอขวด
12. ไมโครปิเปต (micropipette) (Micropette Plus, DLAB, Japan)
13. ปิเปต (pipette)
14. หลอดทดลอง
15. หลอดเซนติฟิว (centrifuge tube) 50 ml (Tarsons, India)
16. เต้าไฟฟ้า (HNC-125R, Hanabishi, Japan)
17. โปรแกรม MATLAB[®] (R2023a, MathWorks, Inc., USA)
18. โปรแกรม Vernier Spectral Analysis[®] (Spectral Analysis, Vernier, USA)
19. ถูมีย่าง
20. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
21. หน้ากากกันสารเคมี
22. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
23. vortex mixer (Genie2, Scientific Industries)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไดคลอรวออส (dichlorvos) 50% W/V EC (Extra Agrochemical, Thailand)
2. คาร์บาริล (carbaryl) 85% WP (Sotus, Thailand)
3. ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) 10% W/V (Global Crops, Thailand)
4. น้ำ HPLC grade (Honeywell Burdick & Jackson, Michigan)
5. น้ำ DI (Deionized water) (RCI Labscan, Ireland)
6. น้ำกลั่น
7. น้ำ RO
8. 4-(4-nitrobenzyl) pyridine (NBP) analytical reagent grade (Sigma Aldrich, Spain)
9. แอซีโตน (acetone) analytical reagent grade (Marcron, USA)
10. โซเดียมไนไตรท์ (sodium nitrite, NaNO_2) analytical reagent grade (Ajax Finechem, Australia)
11. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) analytical reagent grade (Merk, Germany)
12. tetraethylenepentamine (TEP) (Sigma Aldrich, Spain)
13. para-nitroaniline (PNA) (Sigma Aldrich, Spain)
14. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) analytical reagent grade (Ajax Finechem, Australia)
15. เอทานอล (ethanol) (Alcoh-A, Thailand)
16. para-nitrobenzaldehyde (Sigma Aldrich, Spain)
17. 2,3,5 triphenyl tetrazolium chloride (DC Fine Chemicals, England)
18. กรดแอซิติค (acetic acid, CH_3COOH) (Merk, USA)
19. แอซีโตนไนไตรล์ (acetonitrile) analytical reagent grade (RCI Labscan, Ireland)
20. โซเดียมอะซิเตต (sodium acetate anhydrous, NaOAc) analytical reagent grade (Thomas baker, India)
21. แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate hydrated, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) analytical reagent grade (Ajax Finechem, Australia)
22. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) analytical reagent grade (Ajax Finechem, Australia)

23. สีมงผสมอาหารสีน้ำเงิน (brilliant blue) (อดินพ, ไทย)
24. สีมงผสมอาหารสีแดง (ponceau) (อดินพ, ไทย)
25. สีมงผสมอาหารสีเหลือง (tartrazine) (อดินพ, ไทย)
26. ต่างทับทิม (potassium permanganate : KMnO_4) (แสงสว่างตราค้างคาว, ไทย)
27. น้ำส้มเขียวหวานผสมเกลือดรัม 100% (Chabaabangkok, Thailand)
28. น้ำส้มสายน้ำผึ้ง 100% (Chabaabangkok., Thailand)

3.3 การศึกษาเบื้องต้น

3.3.1 ศึกษาประเภทของคิวเวทที่ใช้ ได้แก่ คิวเวทพลาสติกและคิวเวทควอตซ์ ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการดูดกลืนแสงของสาร เพื่อคัดเลือกมาใช้ในการทดลองต่อไป

3.3.2 ศึกษาชนิดของน้ำที่ใช้ ได้แก่ น้ำ RO น้ำกลั่น น้ำ DI และน้ำ HPLC grade ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการดูดกลืนแสงของสาร เพื่อคัดเลือกมาใช้ในการทดลองต่อไป

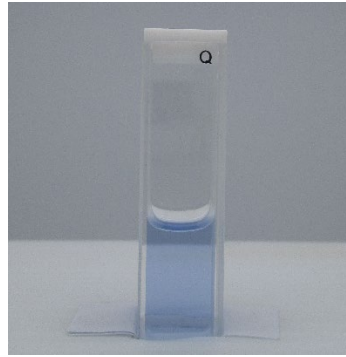
3.3.3 ศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ของสารละลายชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สารละลายสีมง สารละลายต่างทับทิม สารละลายที่มีสารเคมีตกค้าง และอาหารที่มีสารเคมีตกค้าง

3.3.4 เปรียบเทียบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา (Go Direct® SpectroVis® Plus, Vernier, USA) และเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA) ด้วยสารละลายสีมงผสมอาหาร

3.4 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารเคมีกำจัดแมลง

3.4.1 กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate)

เตรียมสารละลายไดคลอร์วอส (dichlorvos) 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสาร 4-(4-nitrobenzyl) pyridine (NBP) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำหลอดทดลองใส่ตะแกรงใส่หลอดทดลองและนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาแล้ว เติมสาร tetraethylenepentamine (TEP) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง หากตรวจพบสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสารละลายที่ได้จะมีสีน้ำเงินม่วง ดังรูปที่ 3.1 (ปาริชาติ, 2554)



รูปที่ 3.1 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

3.4.2 กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate)

เตรียมสารละลายคาร์บาริล (carbaryl) ความเข้มข้น 100 mg/L ปิเปตใส่ในขวดกำหนดปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยปิเปตปริมาตรตามความเข้มข้นที่ต้องการเตรียม จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.0 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงในขวดกำหนดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน และเติมสารละลายผสมระหว่าง para-nitroaniline (PNA) ความเข้มข้น 0.05% และโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้น 0.2% ในอัตราส่วน 1 : 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 25 มิลลิลิตร หากตรวจพบสารกลุ่มคาร์บาเมตสารละลายที่ได้จะมีสีน้ำเงินม่วง ดังรูปที่ 3.2 (พนิดา, 2560)



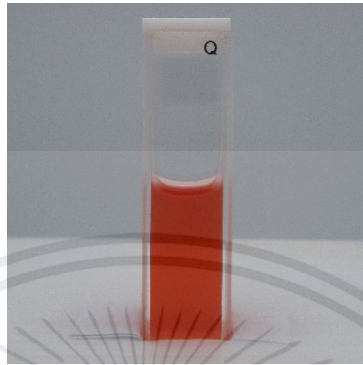
รูปที่ 3.2 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มคาร์บาเมต

3.4.3 กลุ่มไพเรทรอยด์ (Pyrethroid)

เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 25 mM ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง และทำการเติมสารละลายผสมระหว่าง para-nitrobenzaldehyde ความเข้มข้น 6.25 mM ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และ 2,3,5 triphenyl tetrazolium chloride ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายไซเพอร์เมทริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

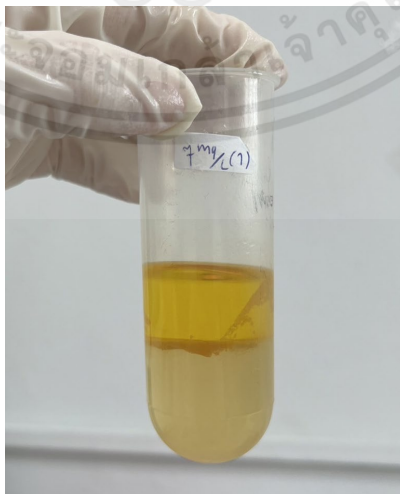
(cypermethrin) 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เมื่อครบเวลาแล้วเติม glacial acetic acid ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองเพื่อหยุดปฏิกิริยา หากตรวจพบสารกลุ่มไพรีทรอยด์สารละลายที่ได้จะมีสีส้มแดง ดังรูปที่ 3.3 (Kaur, 2021)



รูปที่ 3.3 สีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกลุ่มไพรีทรอยด์

3.5 ขั้นตอนการสกัดสารเคมีตกค้างในอาหาร

ใช้วิธี QuEChERS ตามวิธีมาตรฐาน AOAC 2007.01 (AOAC, 2007) โดยมีวิธีการดังนี้ ทำการเตรียมตัวอย่างอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำซังตัวอย่าง 15 กรัมใส่ลงในหลอดเซนติฟิว 50 มิลลิลิตร เติม 1% acetic acid in acetonitrile ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมโซเดียมอะซิเตต 1.5 กรัม และแมกนีเซียมซัลเฟต 12.3 กรัมลงในหลอดเซนติฟิว เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสด้านบนดังรูปที่ 3.4 มาใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.4 สารละลายที่ได้จากการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ค่าสี

ถ่ายภาพสีของสารที่บรรจุอยู่ในแก้วขวดควอตซ์ด้วยกล้องดิจิทัล (IXUS 175, Canon, Japan) ในกล้องถ่ายภาพ (MK40, Sanoto, China) ทำการวิเคราะห์สีด้วยโปรแกรม MATLAB® (R2023a, MathWorks, Inc., USA) และทำการวิเคราะห์ค่าสีระบบ CIELAB โดยพิจารณาค่าความสว่าง (Lightness, L^*) และหาค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงด้วยค่า (x,y) ในระบบ CIE xyY จาก Chromaticity diagram

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง นำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าสหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) และการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016 (Microsoft, USA)

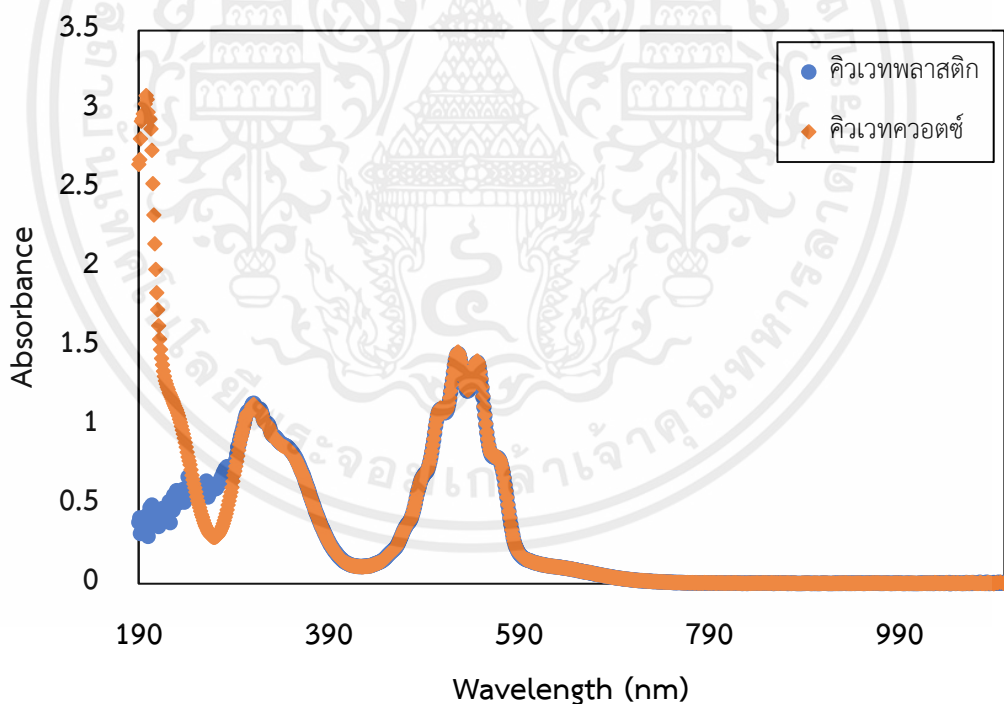
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

4.1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของคิวเวทประเภทต่าง ๆ ต่อการดูดกลืนแสง

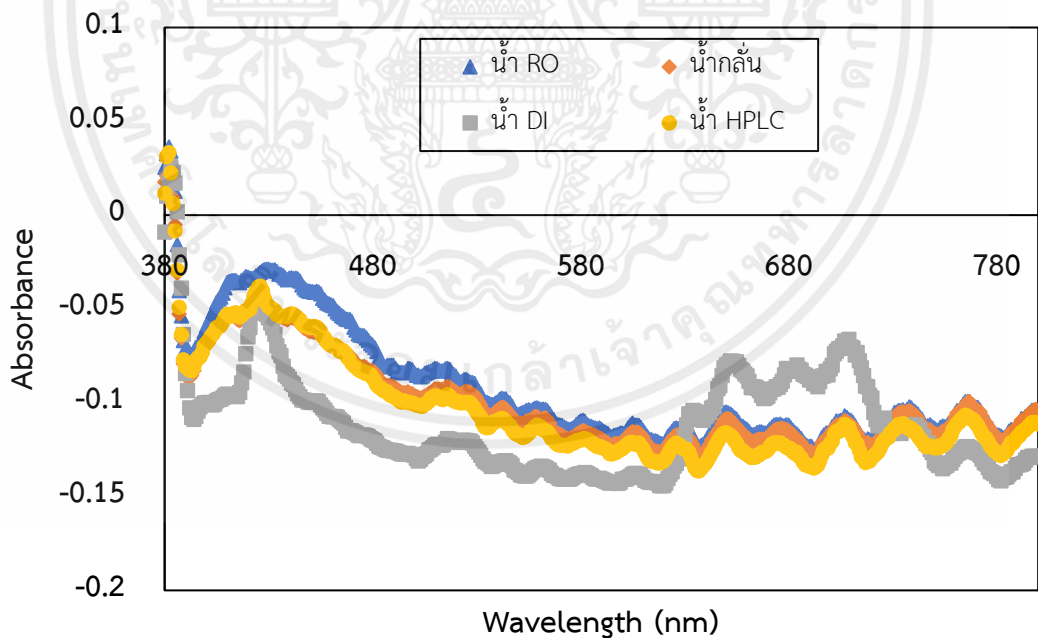
จากการทดลองทำการเปรียบเทียบภาชนะใส่สารละลายระหว่างคิวเวทพลาสติกและคิวเวทควอตซ์ด้วยสารละลายต่างที่บ่มความเข้มข้น 100 mg/L พบว่าคิวเวทพลาสติกมีผลต่อการดูดกลืนแสงในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนมากจนเมื่อเทียบกับคิวเวทควอตซ์ที่สามารถมองเห็น peak ได้อย่างชัดเจน และพลาสติกมีความโปร่งใสน้อยกว่าควอตซ์และไม่สามารถใช้ซ้ำได้ (Deepak, 2016) ซึ่งไม่เหมาะกับการทดลองของเราที่ต้องมีการทำซ้ำหลายครั้งและต้องการความละเอียดในการวิเคราะห์ เราจึงเลือกใช้คิวเวทควอตซ์ในการทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของต่างที่บ่ม 100 mg/L ที่ความยาวคลื่น 190-1100 nm ที่บรรจุในคิวเวทพลาสติกและคิวเวทควอตซ์

4.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดของน้ำที่ใช้ต่อการดูดกลืนแสง

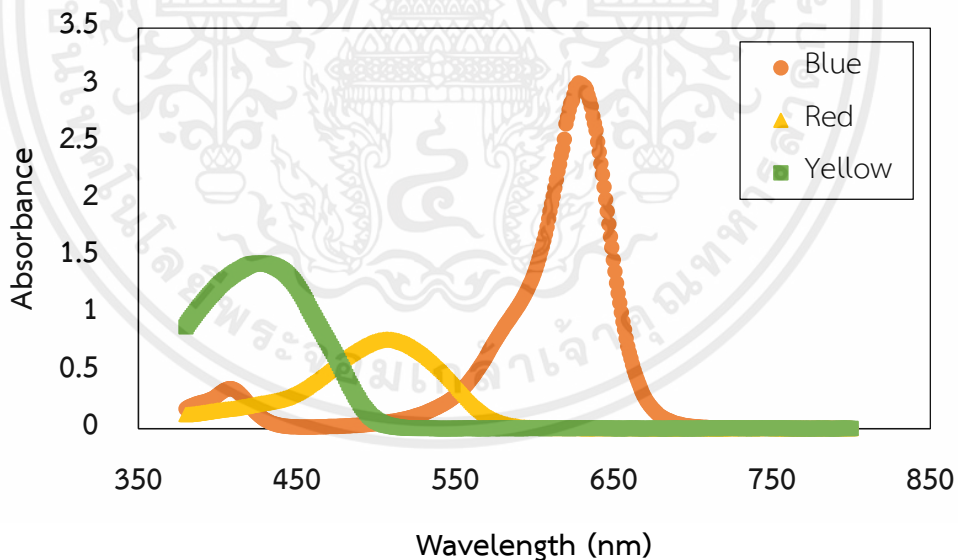
จากการทดลองทำการเปรียบเทียบชนิดของน้ำที่ใช้ได้แก่ น้ำกรอง น้ำกลั่น น้ำ DI และน้ำ HPLC grade โดยใช้ชุดควบคุมเป็นคิวเวทเพล่า พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่าศูนย์ ดังรูปที่ 4.2 เนื่องจากเมื่อแสงตกกระทบผ่านน้ำจะกระตุ้นพลังงานโมเลกุลทำให้แสงที่สะท้อนออกมามีค่ามากกว่าแสงตกกระทบและช่วงการดูดกลืนแสงของน้ำอยู่ในช่วง 200-245 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ji et al., 2007) ทำให้ในการวิเคราะห์ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้นั้นไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้ ซึ่งน้ำกรองและน้ำกลั่นไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เนื่องจากเป็นน้ำที่ยังไม่มีการทำให้บริสุทธิ์มากเพียงพอเท่านั้น DI และ HPLC grade (Downton, 2023) เราจึงทำการละลายสีผสมอาหารสีแดงที่มีช่วงการดูดกลืนในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ลงในน้ำ DI และ HPLC grade เพื่อคัดเลือกน้ำที่เหมาะสมกับการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าสีผสมอาหารที่ละลายในน้ำ DI มีค่า RMSE เท่ากับ 0.0114 ส่วนสีผสมอาหารที่ละลายในน้ำ HPLC มีค่า RMSE เท่ากับ 0.0039 ดังนั้นเราจึงเลือกใช้น้ำ HPLC grade ในการทดลอง



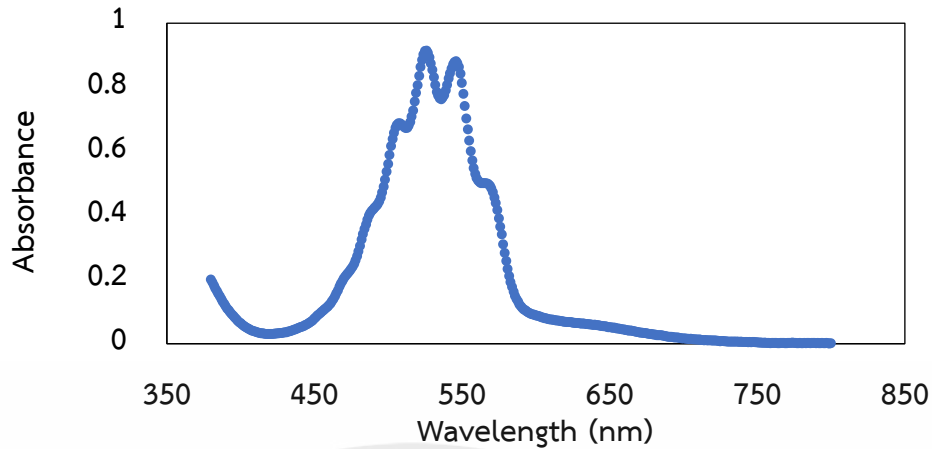
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของน้ำกรอง น้ำกลั่น น้ำ DI และน้ำ HPLC grade ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นของสารละลายต่าง ๆ

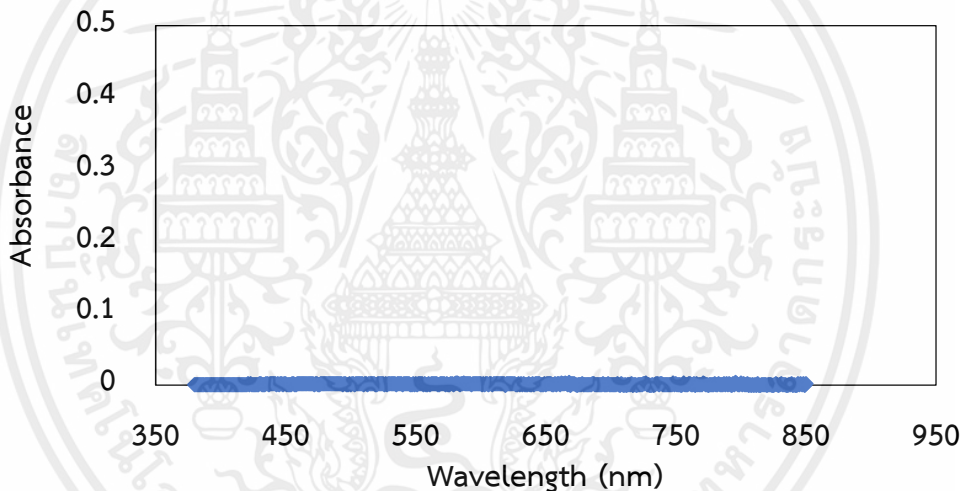
จากการศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ของสารละลายต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ สารละลายสีผงผสมอาหาร สารละลายต่างทับทิม 60 mg/L และสารละลายคาร์บาริล 6 mg/L ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มาตรฐาน พบว่าสารละลายสีผงทั้งสามสี มีช่วงการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ สีเหลืองมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 380-450 นาโนเมตร สีแดงอยู่ในช่วง 450-550 nm และสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 600-700 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.3 ส่วนสารละลายต่างทับทิมมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 450-700 นาโนเมตร โดยมี peak อยู่ที่ 525 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.6 และสารละลายคาร์บาริลไม่พบการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ ดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากคาร์บาริลมีการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรรินทร์และพรระพล (2564) ที่ทำการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงร่วมกับการวิเคราะห์ภาพพบว่าสารคาร์โบซัลแฟนซึ่งอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมตมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายสีผงผสมอาหาร สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างที่บ่มความเข้มข้น 60 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริล 6 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

จากการทดลองนำสารละลายสีผงผสมอาหารไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทั้งสองเครื่อง ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test พบว่าเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบมาตรฐานและแบบพกพามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการสร้างสมการทำนายค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐาน (y) และเครื่องแบบพกพา (x) ได้ 2 สมการ คือ $y = 1.0567x$ ใช้ในช่วงที่ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องแบบพกพามีค่าไม่เกิน 1.6 และ $y = 6.1233x$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในช่วงที่ค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1.6 จากนั้นนำไปทดสอบกับสารเคมีตกค้าง ได้แก่ ไดคลออร์วอสม คาร์บาริล และไซเพอร์เมทริน ที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสี พบว่ามีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error or MAPE) อยู่ที่ร้อยละ 37.7 18.7 และ 15.9 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 10 ต้องมีการเก็บข้อมูลมากขึ้นเพื่อสร้างสมการการทำนายที่มีความแม่นยำมากขึ้น เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาจึงยังไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการศึกษากราฟสเปกตรัมและสีที่ปรากฏของสารเคมีตกค้างที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสี

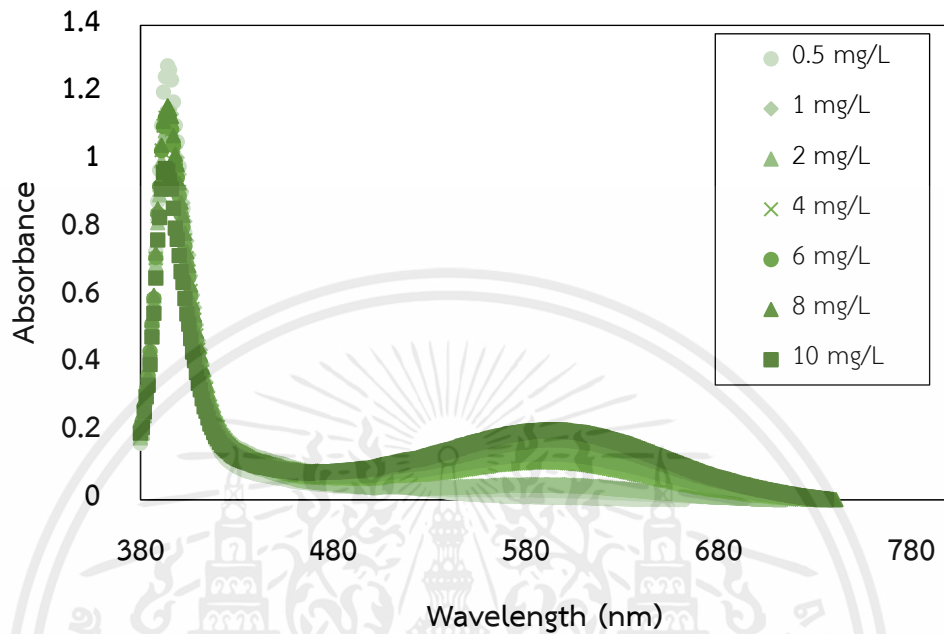
จากผลการทดลองการศึกษากราฟสเปกตรัมของสารเคมีตกค้างที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสี พบว่า ไดคลออร์วอสมมี peak อยู่ที่ 394 นาโนเมตร และ 588-597 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.6 โดย peak ที่พบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของปาริชาติ ภูมิเทศ (2554) ที่ทำการวิเคราะห์ค่าการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารคลอร์ไพริฟอสและมาลาไทออนจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารละลายสีม่วง (500-595 นาโนเมตร) เช่นเดียวกัน ในส่วนของคาร์บาริล พบ peak อยู่ที่ 572 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.7 สอดคล้องกับงานวิจัยของพนิดา ไชยยันต์ บุรณ์และคณะ (2560) ที่ทำการวิเคราะห์สารคาร์บาเมต 4 ชนิดด้วยวิธีวัดสีซึ่งพบ peak อยู่ในช่วง 507-512 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารละลายสีม่วง (500-595 นาโนเมตร) เช่นเดียวกัน และไซเพอร์เมทรินพบ peak อยู่ที่ 457 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารสีส้มแดง เมื่อทำการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารเคมีตกค้างทั้งสามกลุ่มพบว่า เป็นไปตามกฎของเบียร์ คือ ค่าความเข้มข้นแปรผันตรงกับค่าการดูดกลืนแสง

สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีสีเข้มมากขึ้นเมื่อสารเคมีตกค้างมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จึงนำมาสู่การพิจารณาค่าความสว่าง (Lightness) จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่าสารไดคลออร์วอสมและคาร์บาริล เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างจะลดลง ส่วนไซเพอร์เมทรินสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน อาจเกิดจากระยะห่างของช่วงความเข้มข้นมีค่าน้อยเกินไป เมื่อทำการแปลงค่าสีเป็นค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นของไดคลออร์วอสม คาร์บาริล และไซเพอร์เมทริน อยู่ในช่วง 575-590 nm, 572-580 nm และ 492 nm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่เกิด peak ที่ได้จากการวัด จึงนำมาเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดที่ความยาวคลื่นจากการคำนวณจากค่าสีด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

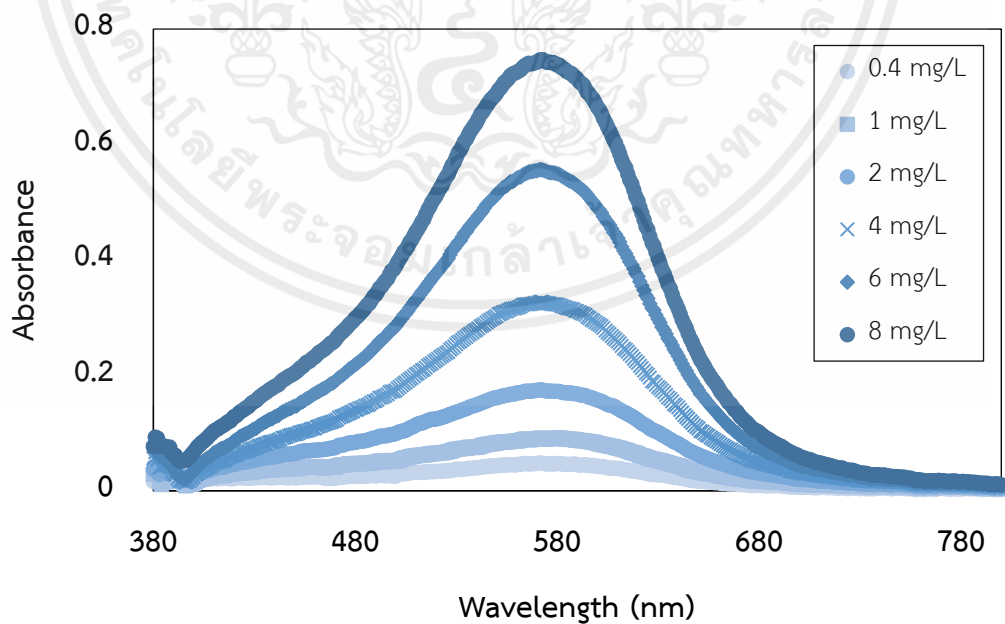
โดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งสามกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาจเกิดจากการแปลงค่าความยาวคลื่นจาก chromaticity diagram ด้วยการประมาณนั้นอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

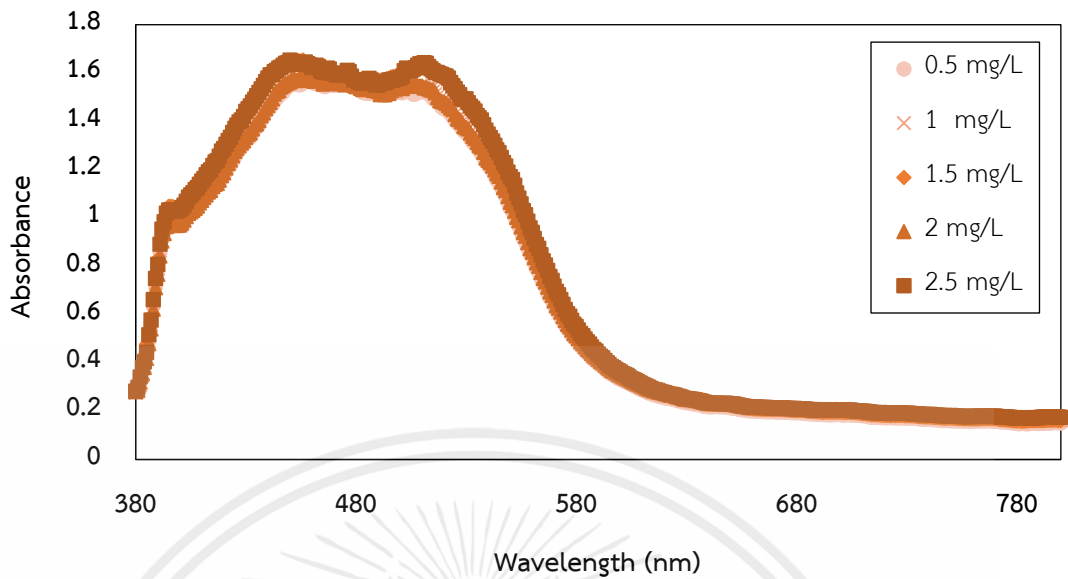


รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารคลอโรฟิลล์ที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคาร์บาริลที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.4, 1, 2, 4, 6 และ 8 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไซเพอร์เมทรินที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2 และ 2.5 mg/L ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

ตารางที่ 4.1 สีที่ปรากฏของสารไดคลอรวอส คาร์บาริล และไซเพอร์เมทรินหลังจากการทำปฏิกิริยา

ชนิดสารเคมี ตกค้าง	ครั้งที่	ความเข้มข้น (mg/L)						
		0.5	1	2	4	6	8	10
ไดคลอรวอส	1	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]
	2	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]
คาร์บาริล	1	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]
	2	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]
ไซเพอร์เมทริน	1	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]
	2	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]	[Color swatch]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

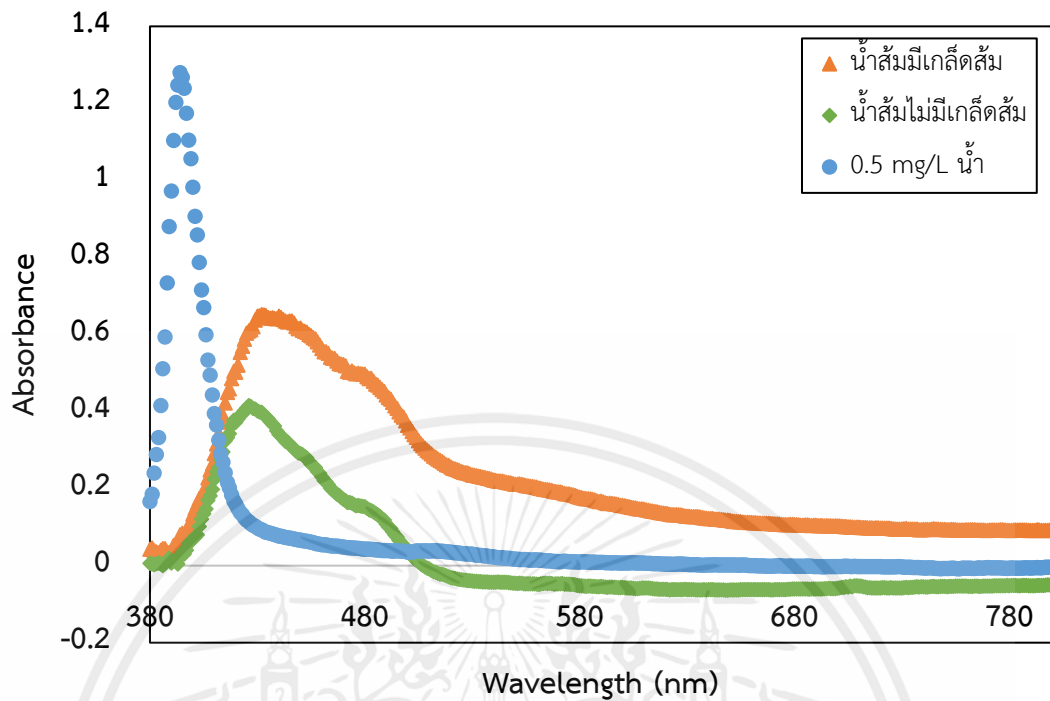
4.2.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในอาหาร

ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในอาหาร โดยทำการสกัดสารเคมีตกค้างด้วยวิธี QuEChERS ตามวิธีมาตรฐาน AOAC 2007.01 (AOAC, 2007) แล้วนำมาทำปฏิกิริยาให้เกิดสีตามกลุ่มต่าง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา ใช้ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีการผสมสารเคมีตกค้างเป็นชุดควบคุมมีผลการทดลองดังนี้

1. ผลการตรวจสอบสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในน้ำส้ม

จากการทดลองการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีเพื่อตรวจหาสารไดคลอร์วอสความเข้มข้น 0.2 mg/kg ในตัวอย่างน้ำส้มที่เตรียมไว้ พบว่าน้ำส้มแบบไม่ผสมเกลือดีสัสม์และแบบผสมเกลือดีสัสม์พบ peak อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ ช่วงความยาวคลื่น 426-432 นาโนเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ทำการตรวจหาไดคลอร์วอสในน้ำพบว่าความยาวคลื่นที่เกิด peak มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากการคอนจูเกต (conjugation) ของพันธะในสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลต่อการดูดกลืนแสงและการเลื่อนบริเวณที่เกิด peak (Shimadzu, 2009) เมื่อทำการพิจารณาน้ำส้มต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน ซึ่งไม่ตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ผ่านการสกัดแล้วนำมาทำปฏิกิริยาจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้จะเป็นน้ำส้มต่างชนิดกัน เนื่องจากสารได้ผ่านขั้นตอนการสกัดเองประกอบในอาหาร เช่น น้ำตาล กรดไขมัน กรดอินทรีย์ ลิพิด และสารรบกวนอื่น ๆ บางส่วนออกไปแล้ว (Restek, 2021) โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกันนั้นอาจเกิดจากสารที่ผ่านการสกัดไม่ได้ถูกทำความสะอาด (clean-up) เพื่อขจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการออกให้หมด ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองระหว่างการตรวจหาไดคลอร์วอสในน้ำกับน้ำส้ม พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีความแตกต่างต่างกัน โดยในน้ำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าในน้ำส้มดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากน้ำส้มนั้นมีความเข้มข้น pH รวมไปถึงรูปร่างพันธะโมเลกุลต่าง ๆ แตกต่างกับน้ำ อาทิเช่น โมเลกุลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำส้ม ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส เป็นต้น จากการทำการทดลองตรวจปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของ Zaitoun M. A. (2006) พบว่าหากความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสสูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าต่ำลง โดยในน้ำส้มมีน้ำตาลสูงกว่าในน้ำ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของการตรวจสอบคาร์บาริลตกค้างในน้ำส้มมีค่าต่ำกว่า



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไดคลอร์วอส 0.2 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้มและมีเกล็ดส้ม และไดคลอร์วอส 0.5 mg/L ในน้ำ ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไดคลอร์วอสที่ถูกสกัดจากน้ำส้มทั้งสองชนิดเป็นดังรูปที่ 4.10 สารละลายที่ได้มีสีเหลืองเป็นผลมาจากสีของน้ำส้มที่ผ่านการสกัดแล้วยังติดสีเหลืองส้มอยู่ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาแล้วจึงทำให้สารละลายมีสีเหลืองแตกต่างจากการทำปฏิกิริยาไดคลอร์วอสในน้ำที่สารละลายเป็นสีน้ำเงินม่วง ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณไดคลอร์วอสที่ทำปฏิกิริยากับสาร NBP มีปริมาณน้อยมากทำให้สีน้ำเงินม่วงที่ต้องเกิดขึ้น ถูกสีของสารสกัดซึ่งเป็นสีส้มเหลืองผสมจนมองไม่เห็นสีน้ำเงินม่วง และเมื่อทำการแปลงค่าสีเป็นค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-420 nm ซึ่งไม่สอดคล้องกับตำแหน่ง peak ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือและการคำนวณมาเปรียบเทียบ ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณค่าสี ดังตารางที่ ค.13 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีความแตกต่างกัน แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้เนื่องจากการทำการทดลองเพียง 1 ซ้ำ เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณสารที่ทำปฏิกิริยาให้เกิดสีไม่เพียงพอต่อการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการตรวจสอบสารไดคลอรวอสในน้ำส้มยังไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากมีการทดลองเพียง 1 ครั้ง จากข้อจำกัดของปริมาณสารเคมีที่ทำการตรวจวัดไม่เพียงพอและหากทำการจัดซื้อจะต้องใช้ระยะเวลาการจัดส่งสารเคมีเป็นระยะเวลานานจึงทำให้ไม่สามารถทำการทดลองซ้ำได้



(ก)

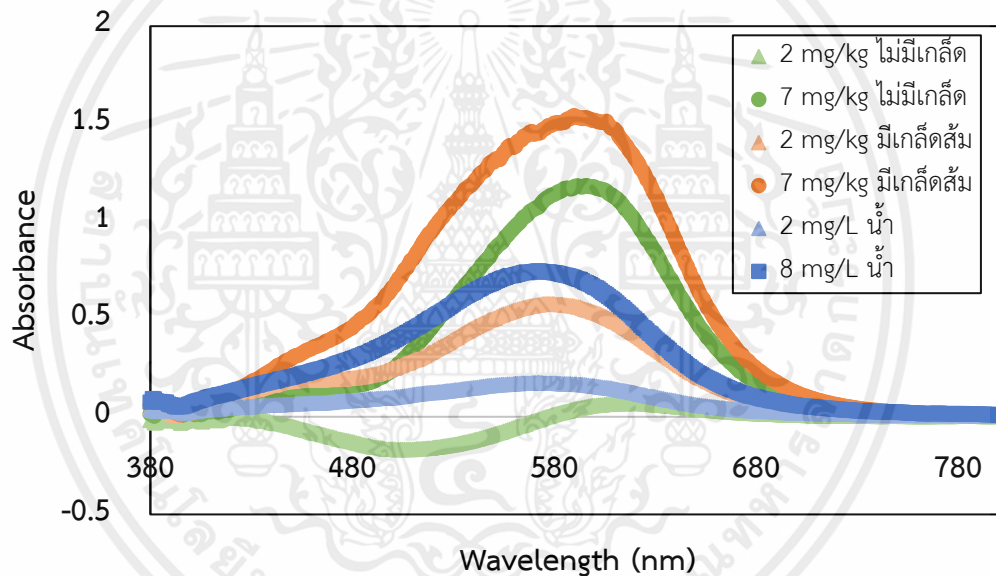
(ข)

รูปที่ 4.10 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไดคลอรวอส 0.2 mg/kg ที่ถูกสกัดจาก
(ก) น้ำส้มไม่ผสมเกลือดรัม (ข) น้ำส้มผสมเกลือดรัม

2. ผลการตรวจสอบสารกลุ่มคาร์บาเมตในน้ำส้ม

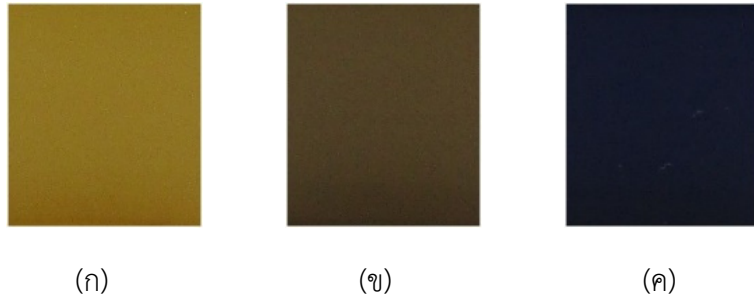
จากการทดลองการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีเพื่อตรวจสอบสารคาร์บาไรลความเข้มข้น 2 และ 7 mg/kg ในตัวอย่างน้ำส้มที่เตรียมไว้ พบว่าน้ำส้มแบบไม่ผสมเกลือดรัมพบ peak อยู่ที่ความยาวคลื่น 596 – 618 นาโนเมตร ส่วนน้ำส้มผสมเกลือดรัมพบ peak อยู่ที่ 576-590 นาโนเมตรเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ทำการตรวจสอบคาร์บาไรลในน้ำพบว่าความยาวคลื่นที่เกิด peak มีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.11 และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของคาร์บาไรลในน้ำส้มชนิดเดียวกันจะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของคาร์บาไรลซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ แต่เมื่อทำการพิจารณาน้ำส้มต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันจะพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน ซึ่งไม่ตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ผ่านการสกัดแล้วนำมาทำปฏิกิริยาจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้จะเป็นน้ำส้มต่างชนิดกัน เนื่องจากสารได้ผ่านขั้นตอนการสกัดเอาองค์ประกอบในอาหาร เช่น น้ำตาล กรดไขมัน กรดอินทรีย์ ลิพิด และสารรบกวนอื่น ๆ บางส่วนออกไปแล้ว (Restek, 2021) โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกันนั้นอาจเกิดจากสารที่ผ่านการสกัดไม่ได้ถูกทำความสะอาด (clean-up) เพื่อขจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการออกให้หมด ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการตรวจหาคาร์บาริลในน้ำกับน้ำส้ม พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีความแตกต่างกันดังรูปที่ 4.11 โดยค่าการดูดกลืนแสงจากการตรวจหาคาร์บาริลในน้ำมีค่าต่ำกว่าการตรวจหาในน้ำส้มทั้งสองชนิด ยกเว้นที่ความเข้มข้น 2 mg/kg ค่าการดูดกลืนของสารที่ได้จากการตรวจสอบในน้ำส้มผสมเกลือส้มมีค่าต่ำกว่าการตรวจสอบในน้ำ ซึ่งไม่เป็นไปตามการทดลองตรวจปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของ Zaitoun M. A. (2006) ที่กล่าวว่า หากความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสสูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าต่ำลง ซึ่งในน้ำส้มมีน้ำตาลสูงกว่าในน้ำจึงควรมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าน้ำ การที่ค่าการดูดกลืนแสงจากการตรวจหาคาร์บาริลในน้ำส้มสูงกว่าในน้ำอาจมีสาเหตุมาจากสีของสารที่ได้จากการตรวจในน้ำส้มมีค่าความสว่างต่ำกว่าหรือมีสีเข้มกว่า ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีค่ามากกว่าการตรวจในน้ำ



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของคาร์บาริล 2 mg/kg และ 7 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้มไม่มีเกลือส้ม น้ำส้มมีเกลือส้ม ที่ความยาวคลื่น 380-800 nm

สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารคาร์บาริลที่ถูกสกัดจากน้ำส้มทั้งสองชนิดเป็นดังตารางที่ ค.14 และ ค.15 สารละลายที่ได้คือ สีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีน้ำเงินเข้ม เป็นผลมาจากสีของน้ำส้มที่ผ่านการสกัดยังติดสีเหลืองส้มอยู่ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาให้เกิดสีจึงเกิดการผสมกับสีน้ำเงินม่วงจากการตรวจจับคาร์บาริลกลายเป็นสารละลายสีน้ำตาล และหากคาร์บาริลมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สีของสารละลายที่ได้จะมีความเข้มของสีน้ำเงินตามไปด้วยดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารคาร์บาริลความเข้มข้น
(ก) 0 mg/kg (ข) 2 mg/kg (ค) 7 mg/kg ที่ถูกสกัดจากน้ำส้มผสมเกล็ดส้ม

เมื่อวิเคราะห์ค่าความสว่าง (Lightness) ของสีจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่ามีค่าลดลงตามความเข้มข้นของคาร์บาริลในน้ำส้มทั้งสองชนิด แต่เมื่อเทียบค่าความสว่างของส้มทั้งสองชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน จะเห็นว่าค่าความสว่างของสีที่ได้มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งอาจมีผลมาจากสายพันธุ์ของส้มที่ต่างกันทำให้สารสกัดมีสีต่างกัน ส่งผลต่อเนื่องไปยังสีของสารละลายที่ได้จากการทำปฏิกิริยา และเมื่อทำการแปลงค่าสีเป็นค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง พบว่าอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 472-482 nm ซึ่งไม่สอดคล้องกับตำแหน่ง peak ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือและจากการคำนวณมาเปรียบเทียบ ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณค่าสี ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

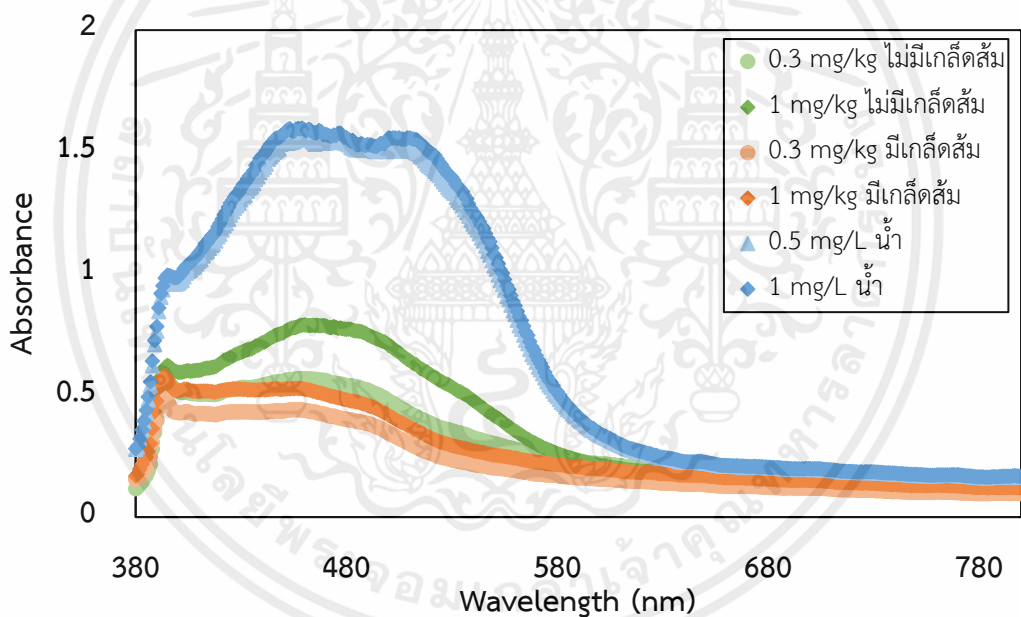
3. ผลการตรวจสอบสารกลุ่มไซเพอร์เมทรินในน้ำส้ม

จากการทดลองการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีเพื่อตรวจสอบหาสารไซเพอร์เมทรินความเข้มข้น 0.3 mg/kg และ 1 mg/kg ในตัวอย่างน้ำส้มที่เตรียมไว้ พบว่าน้ำส้มแบบไม่ผสมเกล็ดส้มและผสมเกล็ดส้มพบ peak อยู่ที่เดียวกันคือ ที่ความยาวคลื่น 458-460 นาโนเมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ทำการตรวจสอบหาไซเพอร์เมทรินในน้ำพบว่า peak เกิดที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไซเพอร์เมทรินในน้ำส้มชนิดเดียวกันจะเห็นว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสารเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไซเพอร์เมทรินซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ แต่เมื่อทำการพิจารณาน้ำส้มต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งไม่ตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ผ่านการสกัดแล้วนำมาทำปฏิกิริยาจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้จะเป็นน้ำส้มต่างชนิดกัน เนื่องจากสารได้ผ่านขั้นตอนการสกัดเองประกอบในอาหาร เช่น น้ำตาล กรดไขมัน กรดอินทรีย์ ลิพิด และสารรบกวนอื่น ๆ บางส่วนออกไปแล้ว (Restek, 2021) โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกันนั้นอาจเกิดจากสารที่ผ่านการสกัดไม่ได้ถูกทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(clean-up) เพื่อขจัดสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการออกให้หมด ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองระหว่างการตรวจหาไซเพอร์เมทรินในน้ำกับในน้ำส้ม พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีความแตกต่างกัน โดยในน้ำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าในน้ำส้มดังรูปที่ 4.13 เนื่องจากน้ำส้มนั้นมีความเข้มข้น pH รวมไปถึงรูปร่างพันธะโมเลกุลต่าง ๆ แตกต่างกับน้ำ อาทิเช่น โมเลกุลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำส้ม ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส เป็นต้น จากการทำการทดลองตรวจปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยวิธีการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ของ Zaitoun M. A. (2006) พบว่าหากความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสสูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าต่ำลง โดยในน้ำส้มมีน้ำตาลสูงกว่าในน้ำ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของการตรวจสอบไซเพอร์เมทรินตกค้างในน้ำส้มมีค่าต่ำกว่า



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไซเพอร์เมทริน 0.3 mg/kg และ 1 mg/kg ที่สกัดจากน้ำส้ม ไม่มีเกล็ดส้มและมีเกล็ดส้ม

สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไซเพอร์เมทรินที่ถูกสกัดจากน้ำส้มทั้งสองชนิดเป็นดังตารางที่ ค.18 และ ค.19 สารละลายที่ได้เป็นสีส้มแดงเช่นเดียวกับการตรวจหาไซเพอร์เมทรินในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบสีของการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ของน้ำส้มไม่ผสมเกล็ดส้ม พบว่าสีของสารละลายจากการทำปฏิกิริยามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังรูปที่ 4.14 และเมื่อวิเคราะห์ค่าความสว่าง (Lightness) ของสี พบว่าค่าความสว่างสีของสารในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ของน้ำส้มทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดมีแนวโน้มไม่เหมือนกัน และเมื่อทำการแปลงค่าสีเป็นค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 459-490 nm ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่ง peak ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือและจากการคำนวณมาเปรียบเทียบ ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณค่าสี ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองที่คลาดเคลื่อนและไม่คงที่ที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิและความเป็นกรด-เบสที่มีผลต่อสีของสารที่ถูกทำปฏิกิริยา



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.14 สีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของสารไซเฟอร์เมทริน 1 mg/kg ที่ถูกสกัดจากน้ำส้มไม่มีเกล็ดส้ม (ก) การทดลองครั้งที่ 1 (ข) การทดลองครั้งที่ 2

4.3 โปรแกรมวิเคราะห์สี

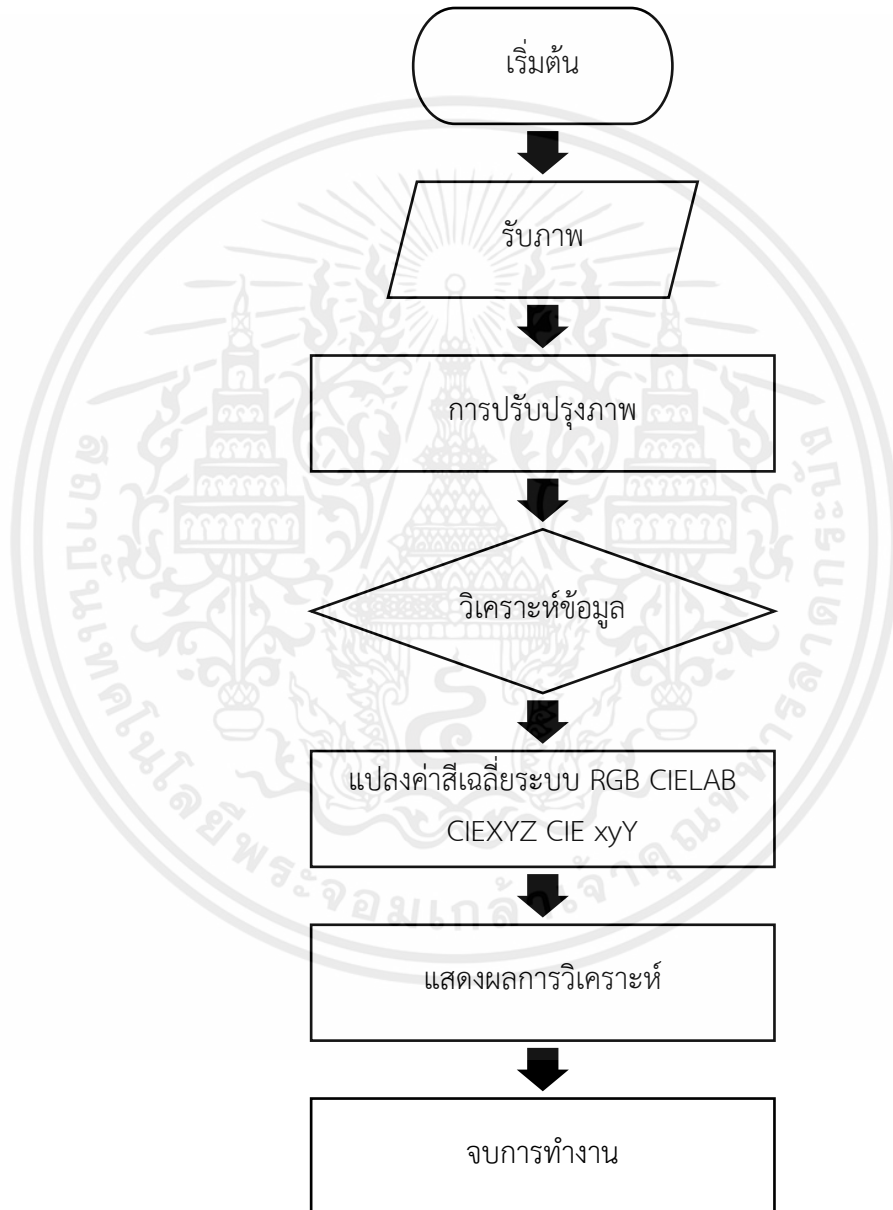
ภาพที่นำไปใช้ในโปรแกรมวิเคราะห์สีได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลในกล่องถ่ายภาพ ความสว่าง 5500 lux อุณหภูมิสี 5500K โดยตั้งค่ากล้องดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การตั้งค่าในกล่องถ่ายภาพ

	ตั้งค่า
ISO rating	100
Flash	Off
Disp. Brightness	20%

4.3.1 หลักการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์สี

โปรแกรมเริ่มต้นทำงานโดยการรับภาพ (image acquisition) ที่ได้จากกล้องดิจิทัล จากนั้นทำการปรับปรุงภาพ (image preprocessing) โดยทำการตัดส่วนภาพ (crop) ส่วนที่ต้องการของภาพ โดยกำหนดตำแหน่งมาทำการวิเคราะห์ค่าสีเฉลี่ยในระบบต่าง ๆ ได้แก่ RGB CIELAB CIE XYZ และ CIE xyY



รูปที่ 4.15 ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึ่งเป็นสารพิษอันตรายนั้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในร่างกายของมนุษย์ แต่ยังคงมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โครงการงานนี้จึงเกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นได้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในอาหารที่ความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นได้ ในการทดลองเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาประเภทของคิวเวท ชนิดของน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลาย พบว่าคิวเวทควอตซ์สามารถมองเห็น peak ได้อย่างชัดเจนทั้งในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ โดยไม่มีสัญญาณรบกวนมากเท่าคิวเวทพลาสติกและสามารถใช้ซ้ำได้ และน้ำ HPLC Grade ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้คิวเวทควอตซ์และน้ำ HPLC grade ตลอดการทดลอง

การเปรียบเทียบเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา (Go Direct[®] SpectroVis[®] Plus, Vernier, USA) และเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ UV-Vis spectrophotometer (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA) ด้วยการนำค่าดูดกลืนแสงมาเปรียบเทียบด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการสร้างสมการทำนายค่าการดูดกลืนแสงของเครื่องในห้องปฏิบัติการและเครื่องแบบพกพาขึ้นมาได้สมการ $y = 1.0567x$ และ $y = 6.1233x$ สำหรับค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าไม่เกิน 1.6 และมีค่ามากกว่า 1.6 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าร้อยละ 10 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การตัดสินใจ ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อสร้างสมการทำนายที่แม่นยำมากขึ้น

การทำปฏิกิริยาสีของสารเคมีกำจัดแมลง 3 กลุ่ม โดยเลือกใช้ไดคลอร์วอส คาร์บาริล และไซเพอร์ทริน โดยสีที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คือ สีน้ำเงินม่วง สีน้ำเงินม่วง และสีส้มแดง ตามลำดับ ซึ่งสามารถตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี พบว่าไดคลอร์วอสและคาร์บาริล สีของสารละลายที่ได้จะมีค่าความสว่างลดลงตามค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการแปลงค่าสีเป็นค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่เกิด peak ที่ได้จากการวัด และเมื่อนำค่าความสว่างของสีไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงแล้วเปรียบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเดียวกันด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งสามกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในอาหารใช้น้ำส้มไม่ผสมเกล็ดส้มและน้ำส้มผสมเกล็ดเป็นตัวอย่างอาหาร เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารที่ทำปฏิกิริยาจากน้ำส้มทั้งสองชนิดพบว่าไดคลอรวอส คาร์บาริล และไซเพอร์เมทรินเกิด peak อยู่ในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน และที่ระดับสารเคมีตกค้างความเข้มข้นเดียวกันมีค่าการดูดกลืนแสงไม่เท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบกราฟสเปกตรัมระหว่างการตรวจหาในน้ำส้มกับน้ำ พบว่าไดคลอรวอส คาร์บาริล และไซเพอร์เมทรินมีความยาวคลื่นที่เกิด peak ใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไดคลอรวอสในน้ำส้มจะแตกต่างจากในน้ำอย่างเห็นได้ชัด และสีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของไซเพอร์เมทรินมีสีส้มแดงซึ่งเหมือนกับการตรวจหาในน้ำ ส่วนไดคลอรวอสและคาร์บาริลให้สีที่แตกต่างจากการตรวจหาในน้ำ เนื่องจากมีสีของสารสกัดซึ่งเป็นสีเหลืองส้มเข้าไปผสมอยู่ด้วย และเมื่อนำค่าพิกัดสี (x,y) มาหาค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงด้วย chromaticity diagram พบว่าสารทั้งสามชนิดได้ค่าความยาวคลื่นจากการคำนวณไม่สอดคล้องกับความยาวคลื่นที่เกิด peak ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเมื่อนำค่าความสว่างของสีไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงแล้วเปรียบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัด ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นเดียวกันด้วยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าคาร์บาริลมีค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ไซเพอร์เมทรินมีค่าการดูดกลืนแสงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และไดคลอรวอสไม่สามารถเปรียบเทียบได้เนื่องจากทำการทดลองเพียง 1 ครั้ง เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาในการจัดซื้อสารเคมีใช้ระยะเวลานานจึงไม่สามารถทำการทดลองซ้ำในกลุ่มนี้ได้ จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าลักษณะและสีของอาหารมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสี ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นได้ ส่วนสีที่ปรากฏสามารถนำมาพิจารณาเป็นค่าความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงจากค่าสีได้โดยใช้ค่าสีระบบต่าง ๆ

ข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาเพิ่มเติม

1. ปฏิกิริยาการเกิดสีที่นำมาใช้ในตรวจวิเคราะห์หาสารเคมีตกค้างในอาหาร ยังมีความไม่คงที่ โดยเฉพาะการทำปฏิกิริยาของสารไซเพอร์เมทรินที่ประยุกต์ใช้มาจากหลักการการตรวจสอบสารไพริทรอยด์ในมุ้งกันยุง เมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ในสารละลายทำให้สีของสารที่ได้ไม่เหมือนกันกับในงานวิจัยที่ได้อ้างอิง ควรทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสมกับการตรวจวัดในอาหารมากขึ้น

2. ควรเก็บข้อมูลระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาให้มากขึ้น เพื่อการสร้างสมการทำนายค่าการดูดกลืนแสงที่มีความถูกต้องและแม่นยำ
3. หลังจากทำการสกัด ควรทำความสะอาด (clean-up) ตัวอย่าง เพื่อขจัดสิ่งรบกวนและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการออก และเพื่อให้ได้สารละลายที่มีความใสมากขึ้น
4. ค่าความยาวคลื่นที่ได้จากค่าพิกัดสี (x,y) ใน chromaticity diagram ไม่แม่นยำและมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการประมาณค่าด้วยสายตาผู้วิจัย ควรจะใช้สมการหรือโปรแกรมในการคำนวณ



เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2560. **วัตถุอันตราย**. [Online]. Available : https://www.doa.go.th/ard/?page_id=270
- กระทรวงสาธารณสุข. 2564. **อัตราป่วยจากพิษสารกำจัดศัตรูพืช**. [Online]. Available : <https://hdcservice.moph.go.th/>
- กระทรวงสาธารณสุข. 2560. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง**. [Online]. Available : <https://food.fda.moph.go.th/law/data>
- เครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดศัตรูพืช. 2563. **ข่าวร้ายปลายปี 2563 ไทยแพนพบผักผลไม้ 58.7% พบสารพิษตกค้างเกินมาตรฐาน**. [Online]. Available : <https://thaipan.org/highlights/2283>
- เครือข่ายเตือนภัยสารกำจัดศัตรูพืช. 2565. **สัมมนาสารพิษอื้อ ตรวจลูกไหนเจอลูกนั้น ข้ายังเจอคลอร์ไพริฟอส**. [Online]. Available : <https://thaipan.org/action/2519>
- ประชาชาติธุรกิจ. 2558. "รู้ทันโรค: 4 สารพิษตกค้างอันตรายที่ต้องระวัง." **Hospital Healthcare**. 9(89) : 5
- ปาริชาติ ภูมิเทศ. 2554. "การพัฒนาชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืช : ออร์กาโนฟอสเฟต." **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**.
- พนิดา ไชยยันต์บุรณ์, สุภาพร บังพรม, นาดยา จันทร์ส่อง และอิทธิพล บังพรม. "การพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate) อย่างรวดเร็วในพริกโดยใช้วิธีวัดสี." **กรมวิชาการเกษตร**.
- พรรณเกษม แผ่พร. 2540. "สารกำจัดแมลง." **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์**. 11(2) : 157-166.
- แมน อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม, ยุติ เชี่ยววัฒนา, อติทยา ศิริภิญญานนท์, ศรีวิไล โอมอภิัญญาณ และอุมาพร สุขม่วง. 2554. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์.
- ศศิภา เต็กอวยพร. 2554. "การพัฒนาระบบการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ." **วิทยานิพนธ์เทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร**.
- สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2566. **วัตถุอันตราย**. [Online]. Available : <https://www.doa.go.th/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2563. สารเคมีตกค้างในอาหารสด. กรุงเทพฯ : SOOK PUBLISHING.
- AOAC INTERNATIONAL. 2007. **AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate.** [Online]. Available : https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf
- Corning A. 2019. **The Chemistry of Light & Color.** [Online]. Available : <https://www.radiantvisionsystems.com/blog/chemistry-light-color>
- Deepak. 2016. **How to select the right cuvette material for UV- VIS absorbance studies?.** [Online]. Available : <https://lab-training.com/select-right-cuvette-material-uv-vis-absorbance-studies/>
- Downton, P. 2023. **What water type should I use?.** [Online]. Available : <https://www.labconco.com/articles/water-type-difference>
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. 2007. **Digital Image Processing.** 3rd ed. United States : Pearson.
- Gunasekaran, S. 1996. “Computer vision technology for food quality assurance”. **Trends in Food Science & Technology.** 7 : 245-256.
- Jayaraj, R., Megha, P. and Sreedev, P. 2016. “Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment”. **Interdiscip Toxicol.** 9(3-4) : 90–100.
- Jingyang, Z., Lifeng, Y., Weiyi, Z., Meilian, C., Dongsheng F., Yong Z. and Yongheng Z. 2021. “Colorimetric Measurement of Deltamethrin Pesticide Using a Paper Sensor Based on Aggregation of Gold Nanoparticles.” **Coatings.** 12. 38.
- Kaur, H., Allan, E., Eggelte, T., García, G. and Monti, F. 2021. “A colorimetric test for the evaluation of the insecticide content of LLINs used on Bioko Island, Equatorial Guinea.” **Malaria Journal.**
- Kerr, D. A. 2010. “The CIE XYZ and xyY Color Spaces.” **Digital Camera Sensor Colorimetry.** (1) : 1-16.

- Morris, R. 2015. “Spectrophotometry.” *Current Protocols Essential Laboratory Techniques*. 11 : 2.1.1-2.1.30.
- Okoroiwu, H. U. and Iwara, I. A. 2018. “Dichlorvos toxicity: A public health perspective.” *Interdiscip Toxicol*. 11(2): 129–137.
- Phillips, K. 2023. **What Is CIELAB Color Space?**. [Online]. Available : <https://www.hunterlab.com/blog/what-is-cielab-color-space/>
- Plook. 2561. **การมองเห็นสีของวัตถุ**. [Online]. Available : <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/65210>
- Ramathibodi Poison Center. 2021. **ภาวะเป็นพิษจาก Organophosphates และ Carbamates**. [Online]. Available : https://www.rama.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/pois-cov/OP_CB
- Restek. 2021. **QuEChERS Sample Preparation Procedures**. [Online]. Available : <https://www.restek.com/globalassets/pim-media/instruction-sheets/803-01-005.pdf>
- Shilpakar, O. and Karki, B. 2021. “Cypermethrin poisoning manifesting with prolonged bradycardia: A case report”. *Toxicol Rep*. 8 : 10–12.
- Silberman, J. and Taylor, A. 2018. “Carbamate Toxicity.” *StatPearls*.
- Sumriddetchkajorn, S. Chaitavon, K. and Intaravanne, Y. 2013. “Mobile device-based self-referencing colorimeter for monitoring chlorine concentration in water.” *Sensors and Actuators B*. 182. 592-597.
- Tafreshi, F. A., Fatahi, Z., Ghasemi, S. F., Taherian, A. and Esfandiari N. 2020. “Ultrasensitive fluorescent detection of pesticides in real sample by using green carbon dots.” *PLoS ONE* 15(3).
- Tamrakar, U., Pillai, A. and Gupta, V. 2007. “A Simple Colorimetric Method for the Determination of Carbofuran and its Application in Environmental and Biological Samples.” *Journal of the Brazilian Chemical Society*.
- Tang, W., Wang, D., Wang, J., Wu, Z., Li, L., Huang, M., Xu, S. and Yan, D. “Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview.” *Chemosphere*. 191 : 990-1007.

United States Environmental Protection Agency. 2000. **Carbaryl**. [Online]. Available : <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/carbaryl.pdf>

Xinying, G., Mi T., Zhengjun, G., Zhongping, Q., Dongmei, W., Meikun, F. 2019.

“Screening pesticide residues on fruit peels using portable Raman spectrometer combined with adhesive tape sampling.” **Food Chemistry**. 295. : 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit, MRL)

แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข เลขที่ 387 พ.ศ. 2560 เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง

ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด

อันดับ	วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ชนิดสารพิษตกค้าง	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1	คาร์บาริล (carbaryl)	คาร์บาริล	ยอดกระถิน	0.02
			ข้าวโพดฝักสด	0.1
			ข้าวโพดฝักอ่อน	0.1
			ข้าวโพดเมล็ดแห้ง	0.02
			ข้าวฟ่าง	10
			ข้าวสาร	1
			เงาะ	1
			แตงโม	1
			ทุเรียน	30
			ปาล์มน้ำมัน	0.05
			ฝักตระกูลกะหล่ำ	1
			ฝักบรีโกลผลตระกูลแตง ยกเว้นแตงโม	2
			พริก	0.5
			พริกแห้ง	2
			พริกหวาน	5
			มะพร้าว	1
			มะม่วง	3
มังคุด	1			
มันฝรั่ง	0.2			
2	ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	ไซเพอร์เมทริน (รวมทุกไอโซเมอร์) (ละลายในไขมัน)	กระเจี๊ยบเขียว	0.5
			ข้าวโพดฝักสด	0.05
			ข้าวโพดฝักอ่อน	0.05
			ข้าวโพดเมล็ดแห้ง	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด

อันดับ	วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ชนิดสารพิษตกค้าง	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
2	ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	ไซเพอร์เมทริน (รวมทุกไอโซเมอร์) (ละลายในไขมัน)	เครื่องเทศกลุ่มผล	0.1
			เครื่องเทศกลุ่มราก	0.2
			ถั่วฝักยาว	0.7
			ถั่วลันเตาฝักสด	0.05
			ถั่วเหลืองเมล็ดแห้ง	0.05
			ถั่วเหลืองฝักสด	5
			ทุเรียน	1
			ผักตระกูลกะหล่ำ	1
			พริก	2
			พริกแห้ง	10
			มะเขือเทศ	0.2
			มะเขือและสินค้า เกษตรที่คล้ายมะเขือ	0.03
			มะม่วง	0.7
			มะละกอ	0.5
			เมล็ดฝ้าย	0.1
			ลำไย	1
			ลิ้นจี่	2
			ผลไม้ตระกูลส้ม ยกเว้นส้มโอ และเกรฟฟรุต	0.3
			เกรฟฟรุต	0.5
			ส้มโอ	0.5
			หน่อไม้ฝรั่ง	0.4
			หอมแดง	0.1
			หอมหัวใหญ่	0.01
			อ้อย	0.2
			เนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วย น้ำนม	2 (ไขมัน)
			เครื่องในสัตว์เลี้ยงลูก ด้วยน้ำนม	0.05
			เนื้อสัตว์ปีก	0.1 (ไขมัน)
เครื่องในสัตว์ปีก	0.05			
มันไก่	0.1			
ไข่	0.05			
นม	0.05			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด

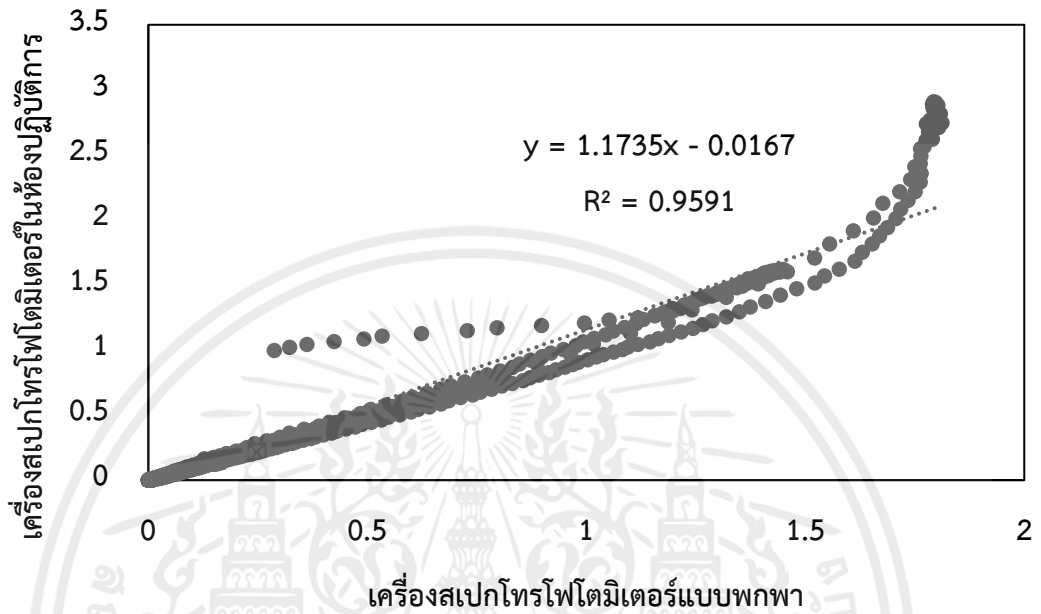
อันดับ	วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ชนิดสารพิษตกค้าง	ชนิดของอาหาร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
3	ไดคลอร์วอส (dichlorvos)	ไดคลอร์วอส	เครื่องเทศ	0.1
			ผลไม้ตระกูลส้ม	0.2
			เมล็ดธัญพืช	0.2
			เนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	0.05
			เนื้อสัตว์ปีก	0.05
			นม	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

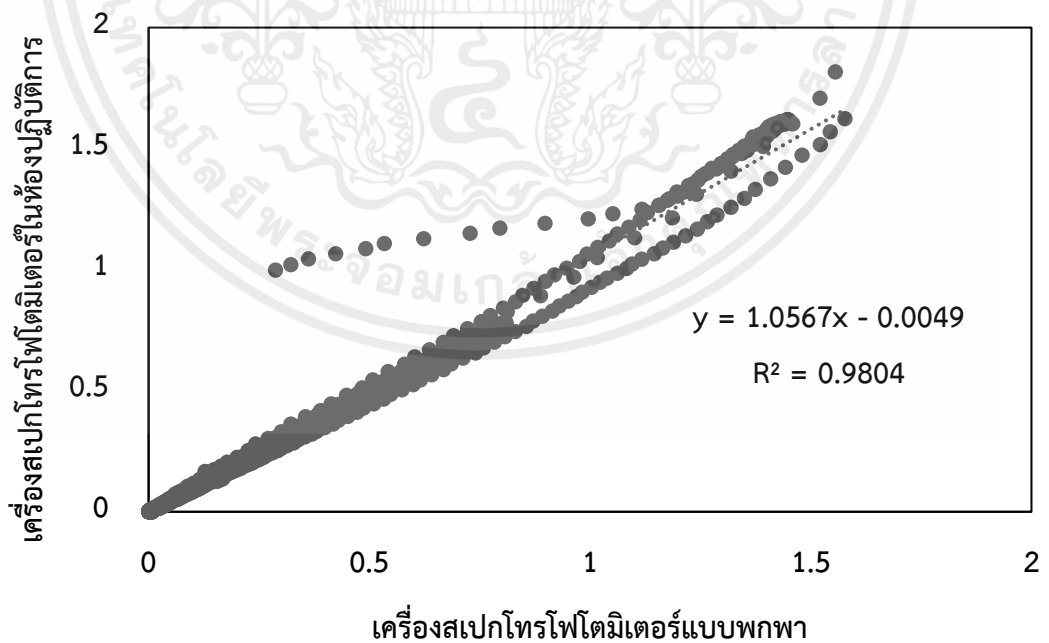


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองเบื้องต้น

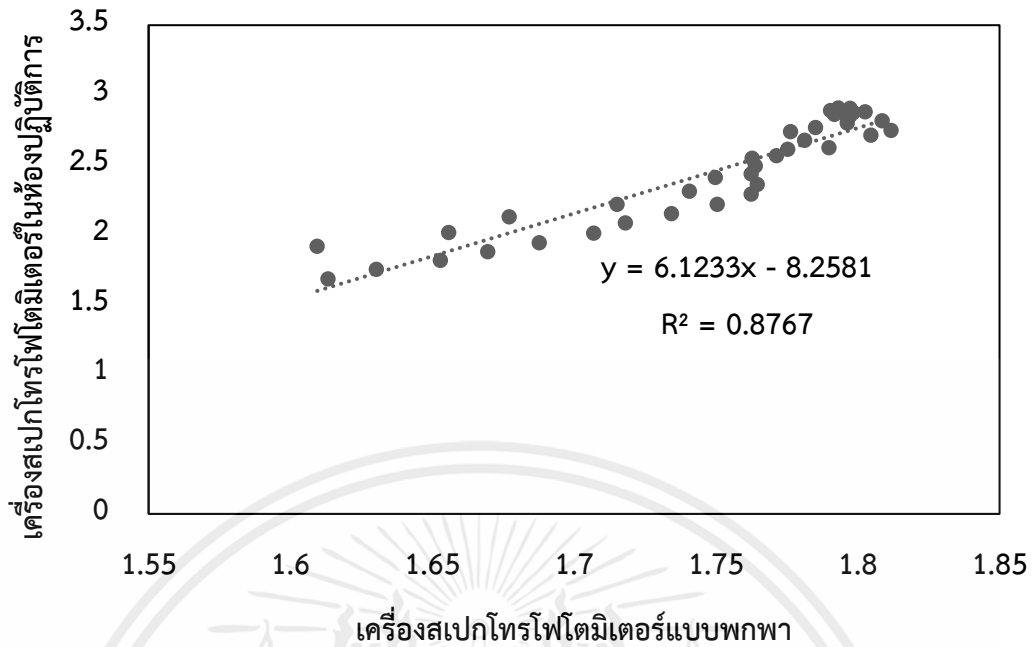


รูปที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพา



รูปที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพาที่ค่าการดูดกลืนแสงไม่เกิน 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการและแบบพกพาที่ค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของน้ำที่เป็นชุดควบคุม

สี	L*	X	Y	Z	x	y
	71.282	0.4051	0.4263	0.4615	0.3133	0.3297

ตารางที่ ค.2 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มไดคลอรวอส

ครั้งที่	ค่าสี	ความเข้มข้น						
		0.5 mg/L	1 mg/L	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L	10 mg/L
1	L*	68.274	68.027	67.814	64.559	64.503	55.775	60.113
	X	0.3599	0.3555	0.3555	0.3183	0.3161	0.2255	0.2690
	Y	0.3839	0.3805	0.3776	0.3354	0.3347	0.2376	0.2829
	Z	0.3925	0.3787	0.4056	0.4226	0.4004	0.3716	0.4371
	x	0.3167	0.3189	0.3122	0.2957	0.3007	0.2701	0.2720
	y	0.3379	0.3413	0.3316	0.3116	0.3184	0.2846	0.2860
2	L*	67.723	66.420	65.357	61.536	55.313	62.198	53.818
	X	0.3525	0.3303	0.3218	0.2775	0.2154	0.2819	0.2137
	Y	0.3764	0.3591	0.3455	0.2992	0.2327	0.3069	0.2186
	Z	0.3896	0.3531	0.3715	0.3571	0.3177	0.3770	0.4335
	x	0.3151	0.3168	0.3098	0.2971	0.2813	0.2919	0.2468
	y	0.3365	0.3445	0.3326	0.3205	0.3039	0.3178	0.2525

ตารางที่ ค.3 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไดคลอรวอส

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความยาวคลื่น (nm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.5	0.0187	0.0222	0.0205	583	585	584
1	0.0203	0.0307	0.0255	582	590	586
2	0.0217	0.0377	0.0297	579	582	581
4	0.0430	0.0639	0.0535	579	580	580
6	0.0434	0.1102	0.0768	581	582	582
8	0.1065	0.0592	0.0829	582	581	582
10	0.0741	0.1221	0.0981	575	575	575

ตารางที่ ค.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไดคลอโรวอส

ความเข้มข้น (mg/L)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสงจากการคำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
0.5	584	0.0205	0.0094
1	586	0.0255	0.0276
2	581	0.0297	0.0448
4	580	0.0535	0.1086
6	582	0.0768	0.1349
8	582	0.0829	0.1757
10	575	0.0981	0.1958

ตารางที่ ค.5 ค่าสีของสารจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มคาร์บาริล

ครั้งที่	ค่าสี	ความเข้มข้น					
		0.4 mg/L	1 mg/L	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L
1	L*	69.067	68.385	62.836	54.978	47.457	44.487
	X	0.3727	0.3671	0.3009	0.2268	0.1721	0.1497
	Y	0.3947	0.3856	0.3146	0.2295	0.1641	0.1422
	Z	0.4312	0.4433	0.3953	0.3521	0.3311	0.2951
	x	0.3109	0.3069	0.2976	0.2806	0.2579	0.2551
	y	0.3293	0.3224	0.3112	0.2839	0.2460	0.2422
2	L*	67.125	65.753	59.077	50.802	38.937	44.487
	X	0.3479	0.3338	0.2629	0.1968	0.1202	0.0714
	Y	0.3683	0.3504	0.2715	0.1914	0.1066	0.0540
	Z	0.4018	0.4146	0.3641	0.3582	0.2765	0.2236
	x	0.3112	0.3038	0.2926	0.2637	0.2388	0.2045
	y	0.3294	0.3189	0.3022	0.2564	0.2117	0.1547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของคาร์บาริล

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความยาวคลื่น (nm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.4	0.0137	0.0261	0.0199	580	581	581
1	0.0180	0.0351	0.0266	581	578	580
2	0.0548	0.0816	0.0682	579	575	577
4	0.1123	0.1471	0.1297	573	572	573
6	0.1767	0.2626	0.2197	574	573	574
8	0.2047	0.2047	0.2047	577	572	575

ตารางที่ ค.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของคาร์บาริล

ความเข้มข้น (mg/L)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสงจากการคำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
0.4	581	0.0199	0.0472
1	580	0.0266	0.0914
2	577	0.0682	0.1728
4	573	0.1297	0.3269
6	574	0.2197	0.5545
8	575	0.2047	0.7425

ตารางที่ ค.8 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาให้เกิดสีของสารกลุ่มไซเพอร์เมทริน

ครั้งที่	ค่าสี	ความเข้มข้น				
		0.5 mg/L	1 mg/L	1.5 mg/L	2 mg/L	2.5 mg/L
1	L*	34.290	35.198	34.308	35.435	33.594
	X	0.1424	0.1504	0.1455	0.1514	0.1399
	Y	0.0816	0.0861	0.0817	0.0873	0.0782
	Z	0.0110	0.0110	0.0098	0.0119	0.0093
	x	0.6060	0.6076	0.6141	0.6041	0.6153
	y	0.3470	0.3478	0.3447	0.3482	0.3439
2	L*	35.191	33.203	34.306	32.710	37.979
	X	0.1482	0.1350	0.1438	0.1330	0.1564
	Y	0.0860	0.0764	0.0816	0.0741	0.1009
	Z	0.0119	0.0093	0.0103	0.0086	0.0228
	x	0.6022	0.6118	0.6099	0.6166	0.5583
	y	0.3495	0.3462	0.3463	0.3436	0.3603

ตารางที่ ค.9 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไซเพอร์เมทริน

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความยาวคลื่น (nm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.5	0.3178	0.3065	0.3122	492	492	492
1	0.3065	0.3318	0.3192	492	492	492
1.5	0.3176	0.3176	0.3176	492	492	492
2	0.3035	0.3383	0.3209	492	492	492
2.5	0.3267	0.2734	0.3001	492	491	491.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไซเฟอร์เมทริน

ความเข้มข้น (mg/L)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสง จากการคำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจาก เครื่อง สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
0.5	492	0.3122	1.5179
1	492	0.3192	1.5268
1.5	492	0.3176	1.5527
2	492	0.3209	1.5412
2.5	492	0.3001	1.3952

ตารางที่ ค.11 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไคคลอรัวสความเข้มข้น 0.2 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกลือดสีและผสมเกลือดสี

ชนิดน้ำส้ม	สีที่ได้	L*	X	Y	Z	x	y
blank		53.392	0.1841	0.2145	0.0325	0.4271	0.4271
ไม่มีเกลือดสี		58.679	0.2207	0.2672	0.0424	0.4161	0.5039
ผสมเกลือดสี		63.452	0.2611	0.3217	0.0879	0.3893	0.4797

ตารางที่ ค.12 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไคคลอรัวสที่สกัดจากน้ำส้ม

ชนิดน้ำส้ม	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น (nm)
ไม่มีเกลือดสี	-0.0410	420
ผสมเกลือดสี	-0.0750	400

ตารางที่ ค.13 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของโคคลอรัวอส 0.2 mg/kg


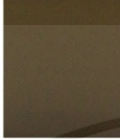
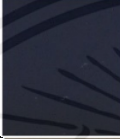
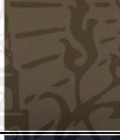
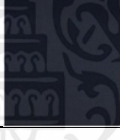
ชนิดน้ำส้ม	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสงจากการคำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
ไม่มีเกล็ดส้ม	420	-0.0410	0.5023
ผสมเกล็ดส้ม	400	-0.0750	0.0693

ตารางที่ ค.14 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดคาร์บาริลความเข้มข้น 2 และ 7 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกล็ดส้ม

	สีที่ได้	L*	X	Y	Z	x	y
	blank	45.325	0.1692	0.1481	0.0498	0.4609	0.4035
ครั้งที่ 1	2 mg/kg	48.191	0.1559	0.1698	0.0678	0.3962	0.4315
	7 mg/kg	16.064	0.0214	0.0212	0.0473	0.2378	0.2363
ครั้งที่ 2	2 mg/kg	50.279	0.1760	0.1868	0.0698	0.4068	0.4319
	7 mg/kg	16.939	0.0241	0.0230	0.0592	0.2263	0.2166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดคาร์บาริลความเข้มข้น 2 และ 7 mg/kg จากน้ำส้มแบบผสมเกลือดัดสี

		สีที่ได้	L*	X	Y	Z	x	y
	blank		49.059	0.1729	0.1773	0.0396	0.4436	0.4548
ครั้งที่ 1	2 mg/kg		27.043	0.0515	0.0519	0.0252	0.4003	0.4037
	7 mg/kg		9.182	0.0107	0.0103	0.0221	0.2483	0.2386
ครั้งที่ 2	2 mg/kg		27.632	0.0538	0.0538	0.0337	0.3806	0.3811
	7 mg/kg		9.599	0.0109	0.0108	0.0204	0.2584	0.2567

ตารางที่ ค.16 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของคาร์บาริลที่สกัดจากน้ำส้ม

ครั้งที่	น้ำส้มไม่มีเกลือดัดสี				น้ำส้มผสมเกลือดัดสี			
	ค่าการดูดกลืนแสง		ความยาวคลื่น (nm)		ค่าการดูดกลืนแสง		ความยาวคลื่น (nm)	
	2 mg/L	7 mg/L	2 mg/L	7 mg/L	2 mg/L	7 mg/L	2 mg/L	7 mg/L
1	-0.0266	0.4505	471	475	0.2587	0.7278	481	471
2	-0.0450	0.4275	475	472	0.2493	0.7085	482	472
เฉลี่ย	-0.0358	0.4390	473	474	0.2540	0.7182	482	472

ตารางที่ ค.17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของคาร์บาริล

ชนิดน้ำส้ม	ความเข้มข้น (mg/kg)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสงจากการคำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
ไม่มีเกลือดส้ม	2	473	-0.0358	-0.1121
	7	474	0.4390	0.1406
ผสมเกลือดส้ม	2	482	0.2540	0.2024
	7	472	0.7182	0.4085

ตารางที่ ค.18 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไซเพอร์เมทรินความเข้มข้น 0.3 และ 1 mg/kg จากน้ำส้มแบบไม่มีเกลือดส้ม

	สีที่ได้	L*	X	Y	Z	x	y
ครั้งที่ 1	blank	62.170	0.3004	0.3064	0.2355	0.3567	0.3637
	0.3 mg/kg	64.805	0.3177	0.3383	0.2623	0.3459	0.3685
	1 mg/kg	42.386	0.1742	0.1278	0.0301	0.5247	0.3848
ครั้งที่ 2	0.3 mg/kg	59.845	0.2766	0.2800	0.1823	0.3743	0.3790
	1 mg/kg	66.939	0.3388	0.3658	0.3088	0.3343	0.3610

ตารางที่ ค.19 สีที่ปรากฏจากการทำปฏิกิริยาของสารสกัดไซเพอร์เมทรินความเข้มข้น 0.3 และ 1 mg/kg จากน้ำส้มแบบผสมเกล็ดส้ม

	สีที่ได้	L*	X	Y	Z	x	y
	blank	71.282	0.4051	0.4263	0.4615	0.3133	0.3297
ครั้งที่ 1	0.3 mg/kg	68.551	0.3548	0.3875	0.3224	0.3332	0.3640
	1 mg/kg	63.689	0.3067	0.3245	0.2317	0.3554	0.3760
ครั้งที่ 2	0.3 mg/kg	65.360	0.3254	0.3454	0.2674	0.3468	0.3681
	1 mg/kg	65.822	0.3248	0.3512	0.2750	0.3415	0.3693

ตารางที่ ค.20 ค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นที่จากการคำนวณด้วยค่าสีของไซเพอร์เมทรินที่สกัดจากน้ำส้ม

ครั้งที่	น้ำส้มไม่มีเกล็ดส้ม				น้ำส้มผสมเกล็ดส้ม			
	ค่าการดูดกลืนแสง		ความยาวคลื่น (nm)		ค่าการดูดกลืนแสง		ความยาวคลื่น (nm)	
	0.3 mg/L	1 mg/L	0.3 mg/L	1 mg/L	0.3 mg/L	1 mg/L	0.3 mg/L	1 mg/L
1	-0.0180	-0.0180	435	490	0.0170	0.0489	-	470
2	0.0166	-0.0321	482	-	0.0377	0.0346	463	-
เฉลี่ย	-0.0007	-0.0251	459	490	0.0274	0.0418	463	470

ตารางที่ ค.21 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการคำนวณและเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นที่ได้จากการแปลงค่าสีของไซเฟอร์เมทริน

ชนิดน้ำส้ม	ความเข้มข้น (mg/kg)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสงจากการ คำนวณ	ค่าการดูดกลืนแสงจาก เครื่องสเปกโทรโฟโต มิเตอร์
ไม่มีเกลือส้ม	0.3	459	-0.0007	0.5678
	1	490	-0.0251	0.7483
ผสมเกลือส้ม	0.3	463	0.0274	0.4333
	1	470	0.0418	0.5043



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ชุดคำสั่งโปรแกรม

รหัสคำสั่งรับรูปเข้าโปรแกรม

```
[fname path] = uigetfile('*.*', 'Select an Image');
fname=strcat(path,fname);
I = imread(fname);
subplot(211);
imshow(I)
title('Original Image');
```

รหัสคำสั่งตัดรูป

```
cropl = imcrop(I,[2378.5 3104.5 341 395]);
subplot(212);
imshow(cropl)
```

รหัสคำสั่ง Average color

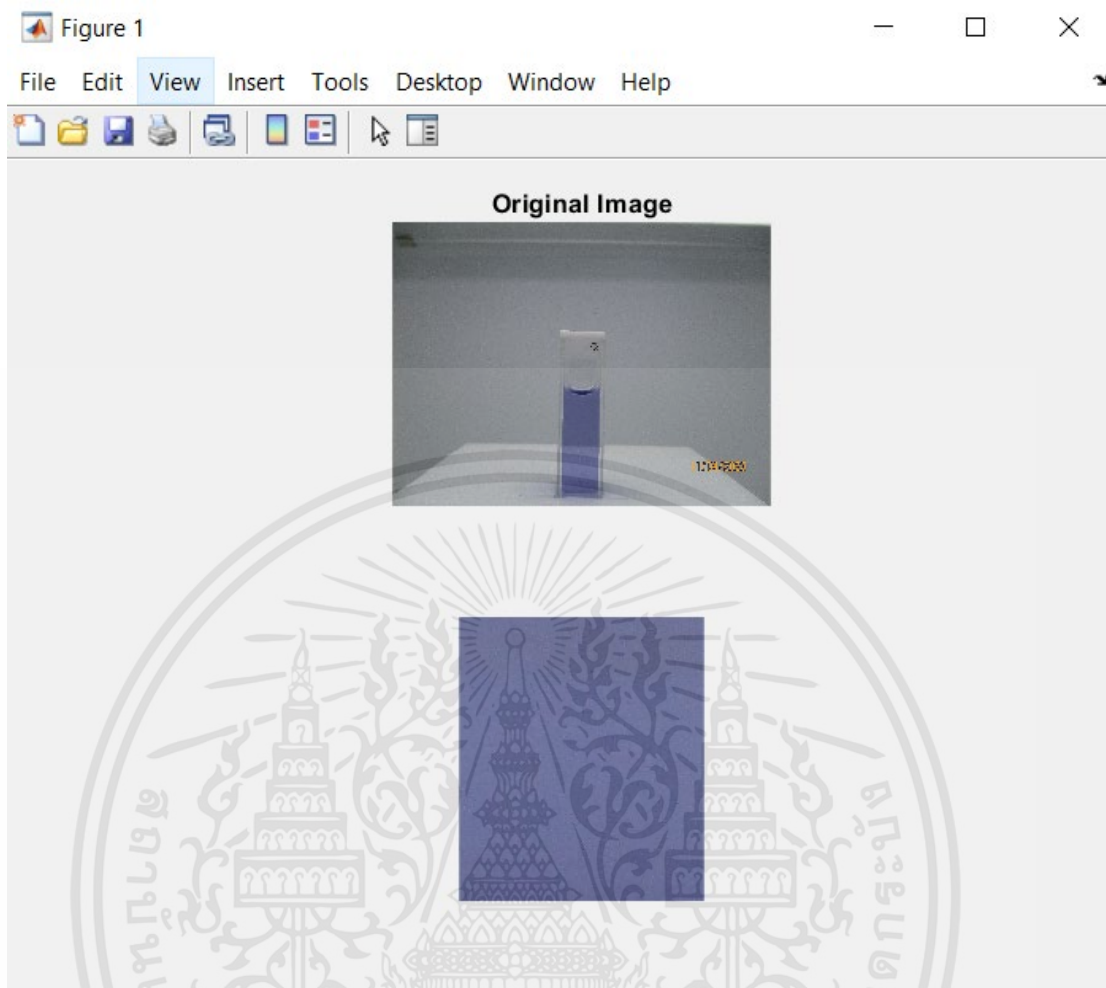
```
%% RGB
showa = [];
red = cropl(:,:,1);
green = cropl(:,:,2);
blue = cropl(:,:,3);
meanR = mean2(red);
meanG = mean2(green);
meanB = mean2(blue);
showa = [meanR meanG meanB];
disp("The average RGB is :");
disp(showa);
```

```

%% L*a*b*
showb = [];
labImage = rgb2lab(cropI);
L = labImage(:,:,1);
a = labImage(:,:,2);
b = labImage(:,:,3);
meanL = mean2(L);
meana = mean2(a);
meanb = mean2(b);
showb = [meanL meana meanb];
disp("The average Lab is :");
disp(showb);
%% CIEXYZ
showc = [];
XYZ = rgb2xyz(cropI);
X = XYZ(:,:,1);
Y = XYZ(:,:,2);
Z = XYZ(:,:,3);
meanX = mean2(X);
meanY = mean2(Y);
meanZ = mean2(Z);
showc = [meanX meanY meanZ];
disp("The average XYZ is :");
disp(showc);
%% CIE xyY
showd = [];
x = meanX/(meanX + meanY + meanZ);
y = meanY/(meanX + meanY + meanZ);
showd = [x y];
disp("The x and y is :");
disp(showd);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 หน้าต่างแสดงหลังจากทำจากตัดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

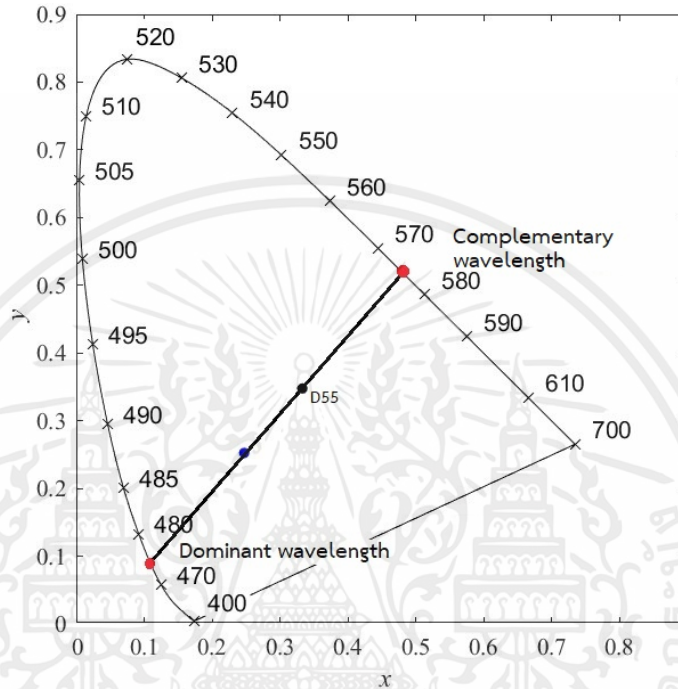


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณ

การคำนวณค่าความยาวคลื่นจาก chromaticity diagram



รูปที่ จ.1 การหาความยาวคลื่นที่ดูตกลืนแสงจากค่าพิกัดสี (x,y)

นำค่าพิกัดสี (x,y) ไปพล็อตใน chromaticity diagram จากนั้นลากเส้นตรงตัดจุดสีและจุด white point ซึ่งในงานวิจัยนี้เราเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง D55 ซึ่งมีพิกัด (x,y) คือ $(0.3325, 0.3476)$ ลากเส้นตรงไปชนเส้นรอบรูปทั้งสองฝั่งจะได้ ความยาวคลื่นเด่น (dominant wavelength) และความยาวคลื่นคู่สีตรงข้าม (complementary wavelength) จากรูปที่ จ.1 จะได้ค่าความยาวคลื่นเด่น 473 นาโนเมตร และความยาวคลื่นคู่สีตรงข้าม 575 นาโนเมตร

การคำนวณค่าการดูดกลืนแสง

จาก

$$A = \log \frac{P_0}{P} \quad (จ.1)$$

A = ค่าการดูดกลืน

ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (Molar Absorptivity)

b = ความกว้างของเซลล์ หน่วย เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C = ความเข้มข้น หน่วย โมล/ลิตร

P_0 = ความเข้มแสงเมื่อเริ่มตกกระทบ

P = ความเข้มแสงหลังผ่านตัวกลาง

ตารางที่ จ.1 ค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ของสารจากการทำปฏิกิริยาสีกลุ่มไดคลอโรวอส

0 mg/L	0.5 mg/L	1 mg/L	2 mg/L	4 mg/L	6 mg/L	8 mg/L	10 mg/L
71.282	68.274	68.027	67.814	64.559	64.503	55.775	60.113

แทนค่าในสมการ จ.1

$$A_{0.5 \text{ mg/L}} = \log \frac{71.282}{68.274}$$

$$A_{0.5 \text{ mg/L}} = 0.0187$$

ดังนั้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารไดคลอโรวอส 0.5 mg/L ที่ถูกทำปฏิกิริยาให้เกิดสีมีค่าเท่ากับ 0.0187