

# การแปลงข้อมูลภาพดิจิทัลที่สัมพันธ์กับเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ  
วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERTING DATABASE OF DIGITAL IMAGE IN RELATION TO  
BIO – PIGMENTS IN PLANT TISSUE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING  
IN NANOMATERIAL ENGINEERING  
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

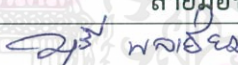


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี  
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
โครงการพิเศษ


หัวข้อโครงการพิเศษ                      การแปลงข้อมูลภาพดิจิทัลที่สัมพันธ์กับเม็ดสีชีวภาพใน  
เนื้อเยื่อพืช

Special Project Title                      Converting database of digital image in relation to  
biopigments In plant tissue

นักศึกษา    นางสาวสรญา มุทร์ศรี  
รหัสประจำตัว                                      56110047  
ปริญญา    วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชา    นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี  
สาขาวิชา    วิศวกรรมวัสดุนาโน  
ปีการศึกษา    2559  
อาจารย์ที่ปรึกษา                                      รศ.ดร.กนกพร สมพรไพลิน  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.มยุรี พลเยี่ยม	
ผศ.ดร.วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์	
รศ.ดร.กนกพร สมพรไพลิน	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ภาควิชาเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพจิตร)  
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี  
วันที่..... 30 ..... เดือน..... สิงหาคม ..... พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การแปลงข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่สัมพันธ์กับเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช
นักศึกษา	นางสาวสรญา มุจรินทร์ศรี
รหัสประจำตัว	56110047
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุฯ
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.กนกพร สมพรไพลิน

## บทคัดย่อ

เม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชเป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่ส่งผลต่อการมองเห็นสีอื่นต่างๆ ของพืช การตรวจสอบปริมาณเม็ดสีชีวภาพในพืชนี้ สามารถบ่งบอกถึงสรีรวิทยาของพืช โดยทั่วไปนิยมใช้การสกัดทางเคมี แต่วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลากหลายขั้นตอน และต้องใช้อุปกรณ์และความเชี่ยวชาญชำนาญเฉพาะด้าน ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างใบไม้ และนำมาจำแนกกลุ่มตามสีสีนใบไม้ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำไปทำการบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ นำไปวิเคราะห์ข้อมูลระบบค่าสีต่าง ๆ ของภาพถ่ายดิจิทัล นำไปไม้ที่กลุ่มจำแนกข้างต้นไปทำการสกัดทางเคมีและ นำมาวิเคราะห์หาปริมาณเม็ดสีชีวภาพตามชนิดต่าง ๆ ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลได้ถูกนำมาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์หลากหลายสมการ การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแปลงของภาพถ่ายดิจิทัล ที่ได้จากระบบค่าสี RGB และ/หรือ HSL กับปริมาณเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการสกัดทางเคมี ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และกลุ่มฟลาโวนอยด์ พบว่า สามารถพัฒนาสมการค่าความสัมพันธ์ 4 สมการที่ใช้ข้อมูลของระบบค่าสีเดียวกัน และสามารถรวมข้อมูลของระบบค่าสีที่แตกต่างกัน สำหรับการประมาณค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพแต่ละชนิด ที่ให้ค่าแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลในระดับสูง (R - Square ในช่วง 0.901-0.986) สมการดังกล่าวนี้สามารถนำมาประมาณค่าหาปริมาณเม็ดสี-ชีวภาพ จากข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลของใบไม้ที่มีสีหลากหลาย ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง

Special Project Title	Converting database of digital image in relation to bio-pigments in plant tissue
Student	Miss Soraya Munrassri
Student ID	56110047
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2016
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kanokporn Sompornpailin

## ABSTRACT

Bio-pigments in plant tissue are the organic substances which affect the visibility of plant color. Bio-pigments in the plant are quantified in order to indicate plant physiology. Chemical extraction is usually performed. This method involves various processes and also requires equipment and skill. In this experiment, leaf samples were collected and classified into a color group. Leaf samples of each group were scanned using a color scanner and data were used for a color image analysis. The same leaf was analyzed a specific type of bio-pigments by chemical extraction method. The digital data were converted by various mathematic formulas. The correlations between the converted digital data (RGB and/or HSL system values) and each bio-pigment (chlorophyll A, chlorophyll B, carotenoid and flavonoids) were calculated. Four different formulas in the system of same digital data and the combination of different system are developed for estimating content of each pigment in intact plant with high correlation ( $R^2 > 0.90$  1-0.986). These formulas can be used to estimate bio-pigment from digital data of color image in a wide range color of leaf by the non destructive method.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้มีความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการดูแล อบรมสั่งสอนเป็นความกรุณาอย่างสูงจาก รศ. ดร. กนกพร สมพรไพลิน อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้ความรู้ เทคนิคต่าง ๆ สำหรับการทำงานวิจัย ทั้งกระบวนการความคิด กระบวนการวางแผน นอกจากนี้ยังสอนการใช้ชีวิตอย่างมีคุณธรรมและจริยธรรม ทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความรับผิดชอบ ความตั้งใจ และความทุ่มเท ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ประการสุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พี่ ๆ ในห้องวิจัยทุกคนที่ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมทั้งเพื่อน ๆ ชั้นปีที่4 ด้วย และขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่สนับสนุน ช่วยเหลือ เป็นทุกสิ่งทุกอย่างของเบื้องหลังความสำเร็จ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของงานวิจัยต่อไป

นางสาวสรญา มุลรัศศรี  
56110047



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กลุ่มของเม็ตลีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชที่สนใจศึกษา.....	3
2.2 การตรวจสอบเม็ตลีชีวภาพโดยใช้เครื่องบันทึกภาพ.....	7
2.3 การตรวจสอบเม็ตลีชีวภาพโดยการสกัดทางเคมี.....	10
2.4 การตรวจสอบเม็ตลีชีวภาพโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์.....	14
2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อประมาณปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการสกัดเม็ตลีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช.....	17
3.2 การบันทึกภาพถ่ายใบพืชในระบบดิจิทัลและวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	18
3.3 วิธีการสกัดเม็ตลีชีวภาพ.....	18
3.4 การออกแบบสมการแปลงระบบค่าสีชนิดต่าง ๆ.....	19
3.5 การหาความสัมพันธ์ของค่าการแปลงระบบค่าสีกับเม็ตลีชีวภาพ.....	20
3.6 การทดสอบการใช้สมการของระบบค่าสี.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	21
4.1 ข้อมูลภาพถ่ายใบพืชที่ได้จากการบันทึกภาพ.....	21
4.2 ค่าสารสกัดเม็ตลีชีวภาพจากใบพืช.....	23
4.3 ค่าความสัมพันธ์ของค่าการแปลงระบบค่าสีกับเม็ตลีชีวภาพ.....	26
4.4 การทดสอบการใช้สมการเส้นตรงของระบบค่าสีในกลุ่มต่าง ๆ ตามสีของ ใบไม้.....	32

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	37
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	38
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายในระบบค่าสี RGB และ HSL.....	41
ภาคผนวก ข ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัล.....	46
ประวัติผู้เขียน.....	50



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกชนิดของฟลาไวโนอยด์โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่แทนที่.....	6
2.2 ความสัมพันธ์ของสีและการดูดกลืนแสง.....	13
2.3 แสดงความสัมพันธ์ของสมการที่พัฒนาร่วมกับผลที่ได้จากการสกัดคลอโรฟิลล์ทางเคมีของมะเขือเทศ ผักกาดหอม และบร็อคโคลี่.....	16
3.1 แสดงสมการของระบบค่าสี RGB และ HSL.....	29
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยระบบค่าสี RGB ที่ได้จากการบันทึกภาพของใบพืชกลุ่มสีต่าง ๆ.....	21
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระบบค่าสี HSL ที่ได้จากการบันทึกภาพของใบพืชกลุ่มสีต่าง ๆ.....	22
4.3 แสดงตัวอย่างการจำแนกสีของใบไม้และค่าการสกัดทางเคมีของเม็ดสีชีวภาพ.....	25
4.4 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของคลอโรฟิลล์เอ.....	26
4.5 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของคลอโรฟิลล์บี.....	27
4.6 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของแคโรทีนอยด์.....	28
4.7 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของไซยานิดิน.....	29
4.8 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (((G-B)/(R-B)) และ สมการเส้นตรง $y = 2.7804x + 6.9084$ ของคลอโรฟิลล์เอ.....	32
4.9 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (((G-B)/(R-B)) และ สมการเส้นตรง $y = 0.8616x + 2.6396$ ของคลอโรฟิลล์บี.....	33
4.10 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (G+B)/R และ (R+G+B) และสมการเส้นตรง $y = 7.9618x - 5.3154$ และ $y = 7.9618x - 13.277$ ของแคโรทีนอยด์.....	34
4.11 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (R+G+B)/G และสมการเส้นตรง $y = 9.9908x - 20.364$ ของไซยานิดิน.....	35
4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงและค่าที่ได้จากการสกัดทางเคมีของเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชตามสีของใบไม้.....	36
5.1 แสดงค่าความต่าง (%) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงกับค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการสกัดทางเคมี.....	37
ก.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวเข้ม.....	42
ก.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวอ่อน.....	43
ก.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวปนสีแดง.....	44
ก.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีแดง.....	45
ข.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(((G-B)/(R-B))*H)/Sกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ.....	47
ข.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(((G-B)/(R-B))*H)/Sกับปริมาณคลอโรฟิลล์บี.....	47
ข.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(G+B)/Rกับปริมาณแคโรทีนอยด์.....	48
ข.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(R+G+B)/Rกับปริมาณแคโรทีนอยด์.....	48
ข.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(R+G+B)/Gกับปริมาณไซยานิดิน.....	49

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี .....	4
2.2 แสดงโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติที่พบมาก 6 ชนิด .....	5
2.3 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ (Flavonoids).....	6
2.4 ตัวอย่างเครื่องสแกน .....	8
2.5 Image J Program .....	8
2.6 ระบบสี RGB .....	9
2.7 แสดงระบบสี HSL.....	10
2.8 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV - Visible .....	11
2.9 ช่วงความยาวคลื่นของ Electromagnetic Spectrum.....	12
2.10 การดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล .....	12
2.11 องค์ประกอบภายในของเครื่อง UV - Visible Spectrophotometer .....	13
2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Lab <sub>ch</sub> และ เครื่องอ่านวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ SPAD 502 (A, C and E) และ Ch <sub>oL</sub> (B, D and F) for tomato, lettuce and broccoli.....	15
3.1 แสดงการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อหาระบบค่าสี. ระบบ RGB ข.ระบบ HSL.....	18
4.1 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ4. Red (R).....	23
4.2 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ4. Red (R).....	23
4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ4. Red (R).....	24
4.4 กราฟแสดงค่าปริมาณไซยานิดิน ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ4. Red (R).....	24
4.5 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (((G-B)/(R-B)) กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ .....	30
4.6 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (((G-B)/(R-B)) กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี .....	30
4.7 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (G+B)/R กับปริมาณแคโรทีนอยด์.....	31
4.8 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (R+G+B)กับปริมาณแคโรทีนอยด์.....	31
4.9 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ R+G+B/G กับปริมาณไซยานิดิน.....	31

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เม็ดสีชีวภาพ เป็นสารชีวโมเลกุลที่ทำหน้าที่กำหนดสีสันภายนอก และคุณลักษณะของพืช เม็ดสีชีวภาพมีหลายชนิด ให้สีที่แตกต่างกัน เมื่อสะสมบริเวณใบพืชจะส่งผลต่อสีของใบ ปริมาณเม็ดสีชีวภาพแต่ละชนิดในเนื้อเยื่อพืช บ่งบอกถึง คุณภาพของใบ เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สะสมในใบสูง แสดงว่า ต้นพืช อยู่ในสภาวะที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ดี ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตของต้นพืช การตรวจสอบคุณภาพของใบ โดยการวิเคราะห์เม็ดสีชีวภาพแต่ละชนิดในเนื้อเยื่อพืช ต้องใช้การสกัดทางเคมีและเทคนิคการตรวจสอบจำเพาะ การสกัดสารด้วยเทคนิคทางเคมีที่ต้องใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่หลากหลาย และผู้ทำงานต้องมีความเชี่ยวชาญชำนาญในเทคนิคการทำงาน นอกจากนี้การสกัดเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด มีประโยชน์ต่อการบริโภคเป็นอาหารเสริมของมนุษย์ซึ่งเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชช่วยทำให้เกิดการต่อต้านสารอนุมูลอิสระรวมไปถึงการไหลเวียนผลัดเปลี่ยนเม็ดเลือดแดงที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นและยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดในร่างกายของเรา เช่น แครโรทีนอยด์ และกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นต้น วิธีการสกัดสารที่ซับซ้อนหลายขั้นตอนและจำกัดอุปกรณ์หลายชนิด รวมทั้งเทคนิคในการทำงาน อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการสกัดเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชขึ้นได้ และต้องใช้งบประมาณในการทำทดลอง และระยะเวลาในการทำวิเคราะห์หาปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชที่ค่อนข้างสูง

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาแนวทางการวิเคราะห์เม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชโดยเทคนิคการบันทึกภาพในระบบดิจิทัลด้วยเครื่องสแกนเพิ่มเติมจากงานวิจัยก่อนหน้า ที่พบว่า การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายจากระบบดิจิทัล ระบบต่างๆ ยังไม่สัมพันธ์กับค่าสารสกัดทางเคมี เท่าที่ควร ดังนั้นการเลือกเฉพาะ ระบบค่าสี ที่มีแนวโน้มให้ความสัมพันธ์กับค่าสารสกัดทางเคมีสูง คือ ระบบค่าสี RGB และ HSL มาใช้ในการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างง่าย ทำให้ทราบปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างคร่าวๆ เพื่อใช้สำหรับบ่งบอกสภาวะการเจริญของต้นพืชด้วยความสะดวกรวดเร็วและมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาระบบค่าสีที่เหมาะสมต่อการแปลงข้อมูลภาพ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหาสมการค่าสีที่สัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาหาสมการค่าสีที่สัมพันธ์กับปริมาณแคโรทีนอยด์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาหาสมการค่าสีที่สัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานิน

### 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

พืชแต่ละชนิดมีเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชแตกต่างกัน การที่เราจะทราบถึงเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชว่ามีมากหรือน้อยสามารถสังเกตคร่าว ๆ ด้วยการดูที่ความเข้มของสีเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเนื้อเยื่อพืชมีเม็ดสีชีวภาพหลากหลายชนิดได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และกลุ่มฟลาโวนอยด์ หากเราต้องการทราบปริมาณเฉพาะเจาะจงของเม็ดสีชีวภาพแต่ละชนิดด้วยการดูแค่ความเข้มของสีเนื้อเยื่อพืชด้วยดวงตาเพียงอย่างเดียว จะเป็นการทำได้ยาก ในงานวิจัยจึงสนใจระบบค่าสีที่มีแนวโน้มให้ความสัมพันธ์กับค่าสารสกัดทางเคมีสูง คือ ระบบค่าสี RGB และ HSL มาใช้ในการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างง่ายและทราบถึงปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชคร่าว ๆ ทำให้สะดวกรวดเร็วและแม่นยำ

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 การคัดเลือกและจำแนกกลุ่มตัวอย่างตามสีใบไม้
- 1.4.2 การบันทึกภาพสีด้วยระบบ ดิจิตอล
- 1.4.3 การแปลงภาพสีเป็นค่าสีของระบบสีชนิดต่างๆ
- 1.4.4 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช
- 1.4.5 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับเม็ดสีชนิดอื่นๆ ในพืช

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช
- 1.5.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณเม็ดสีชีวภาพชนิดอื่นๆ ในพืช
- 1.5.3 แนวทางการนำสมการความสัมพันธ์ไปทำนายค่าเม็ดสีชีวภาพ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

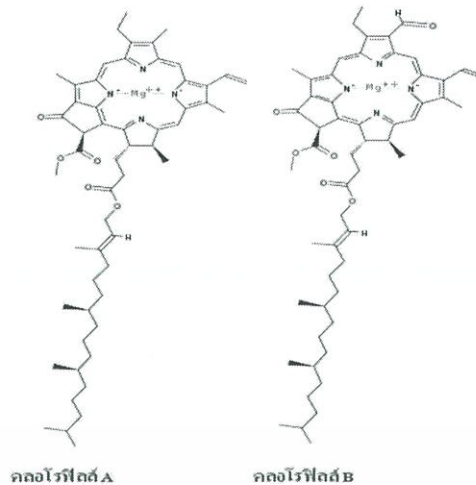
ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชมีวิธีการหลากหลายทั้งทางเคมีและทางกายภาพซึ่งทางผู้จัดทำสนใจศึกษาการวิเคราะห์หาเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลจากระบบค่าสีแทนเทคนิคการทำทดลองในห้องปฏิบัติการ

### 2.1 กลุ่มของเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชที่สนใจศึกษา

#### 2.1.1 คลอโรฟิลล์

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในทุกส่วนที่เป็นสีเขียวของพืชสามารถพบได้ในสาหร่ายทุกชนิดและในแบคทีเรียบางชนิดมีขนาดเล็กมาก โครงสร้างของคลอโรฟิลล์แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (Pyrrole-ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง แมกนีเซียมเกิดพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวมีขนาดประมาณ  $1.5 \times 1.5$  อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชที่สำคัญ ทำหน้าที่รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการสร้างพลังงานสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงในการสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีฟ้าและสีแดง และดูดกลืนแสงสีเหลือง และสีเขียวได้น้อย ดังนั้น เราจึงมองเห็นใบพืชมีสีเขียวเพราะส่วนที่สะท้อนออกมาทำให้มองเห็นคือแสงสีเขียวที่ถูกดูดกลืนได้น้อย คลอโรฟิลล์ที่พบในธรรมชาติมีหลายชนิดแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เราสนใจคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งทั้งสองมีความแตกต่างกัน คือ ตำแหน่งวงแหวนไพโรลตำแหน่งที่ 3 นับจากตำแหน่งอะตอมไนโตรเจนล่างสุดเวียนขึ้นด้านบน โดยโซ่ต่อด้านข้างคลอโรฟิลล์เอ เป็นหมู่เมทิล ( $-CH_3$ ) ส่วนโซ่ต่อด้านข้างของคลอโรฟิลล์บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ( $-CHO$ ) ทำให้สมบัติการดูดกลืนแสงและสีที่มองเห็นแตกต่างกัน คือ คลอโรฟิลล์เอ จะมีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์บี จะมีสีเขียวอ่อน และมีอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอ ต่อคลอโรฟิลล์บี ที่ 3 : 1 (เทคโนโลยีชีวภาพ แหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ, 2009-2016) และ (ภาควิชา, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี  
(ที่มา : ภาคภูมิ, 2550.)

### 2.1.2 แคโรทีนอยด์ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2010-2017.)

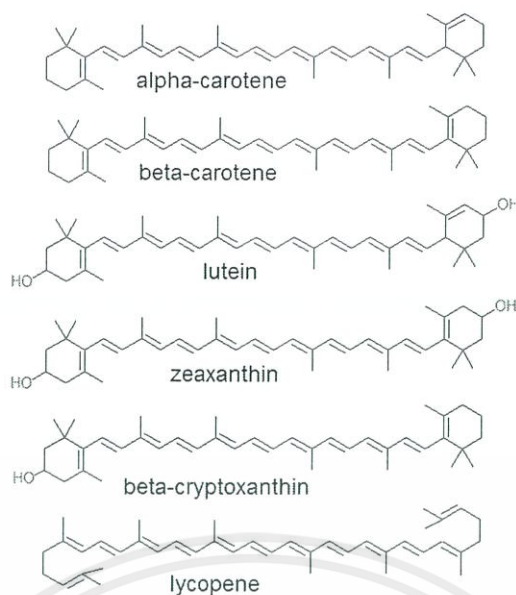
เป็นสารประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon) มีคาร์บอน 40 อะตอม ประกอบด้วย 8 ไอโซพรีน ที่เชื่อมติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่เป็นพันธะคู่สายยาว มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต และแสงสีขาวยได้ดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยที่สีของแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล หากมีจำนวนพันธะคู่มากจะให้สีแดงเข้ม หากมีจำนวนพันธะคู่น้อยจะให้สีจาง ดังนั้นเราจึงเห็นแคโรทีนอยด์เป็นสีเหลือง ส้ม แดง และส้มปนแดง พบทั่วไปในเนื้อเยื่อพืช และสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยแสงได้ ทำงานร่วมกับคลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อการสังเคราะห์แสงและช่วยในการเจริญเติบโตของพืช แคโรทีนอยด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ดังนี้

2.1.2.1 แคโรทีน (Carotene) เป็นรงควัตถุที่มีสีส้ม หรือส้ม-แดง เป็นสายยาวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2.1.2.2 แซโทฟิลล์ (Xanthophyll) มีสีเหลือง หรือส้ม-เหลือง เป็นสายยาวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจน O เป็นองค์ประกอบ ซึ่งแซโทฟิลล์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับระดับปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของโมเลกุล แคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติมีประมาณ 600 ชนิด ที่พบมาก มี 6 ชนิด คือ

- 1) แอลฟา - แคโรทีน (alpha-carotene)
- 2) บีตา - แคโรทีน (beta-carotene)
- 3) บีตา - คริปโตแซนทิน (beta-cryptoxanthin)
- 4) ไลโคพีน (lycopene)
- 5) ลูทีน (lutein)
- 6) ซีแซนทิน (zeaxanthin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติที่พบมาก 6 ชนิด  
(ที่มา : David E., 2010.)

### 2.1.3 ฟลาโวนอยด์ (วิภพ, 2556)

เป็นกลุ่มเม็ดสีชีวภาพที่ทำให้พืชมีสีหลากหลายขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสาร เช่น สีเหลือง สีส้ม สีแดง สีม่วง หรือสีอ่อนมาก โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย ฟีนิลเบนโซไพโรน (Phenylbenzopyrones) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กและมีโครงสร้างประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของคาร์บอน 15 ตัว ( $C_6 - C_3 - C_6$ ) เป็นวงแหวน 3 วงได้แก่ วงแหวนเบนซีน (Benzen ring) 2 วง (A and B) เชื่อมต่ออยู่กับวงแหวนไพแรน (Heterocyclic pyran ring) ซึ่งอยู่ตรงกลางของโครงสร้าง (C) (ภาพที่ 2.3) โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันซึ่งแทนที่ในโครงสร้างพื้นฐาน (ตารางที่ 2.1) ได้เป็น 7 กลุ่ม ได้แก่

2.1.3.1 ฟลาโวนอล (Flavonols) เช่น เคอร์ซีติน (Quercetin) แคมป์เฟอร์อล (Kaempferol) ไมริซีติน (Myricetin)

2.1.3.2 ฟลาโวน (Flavones) เช่น ลูทีโอลิน (Luteolin) อาพิจินิน (Apigenin) ไครซิน (Chrysin)

2.1.3.3 ฟลาวาโนน (Flavanones) เช่น เฮสเพอริติน (Hesperetin) นารินจินิน (Naringenin) อีริโอดีคทีออล (Eriodictyol)

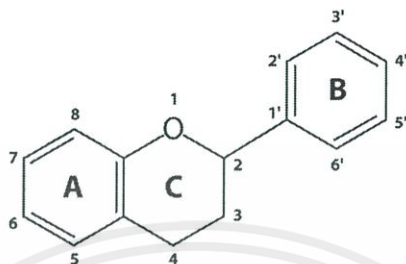
2.1.3.4 ฟลาวานอล (Flavanols) เช่น แคทีชิน (Catechin) แกลโลแคทีชิน (Gallocatechin) อีพิแคทีชิน (Epicatechin) อีพิแกลโลแคทีชิน (Epigallocatechin) อีพิแคทีชิน-3-แกลเลต (Epicatechin-3-Gallate) อีพิแกลโลแคทีชิน-3-แกลเลต (Epigallocatechin-3-Gallate)

2.1.3.5 ฟลาวาโนล (Flavanonols) เช่น แทกซิโฟลีน (Taxifolin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

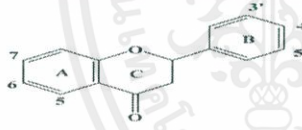
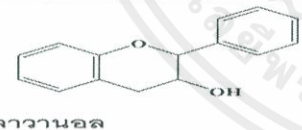
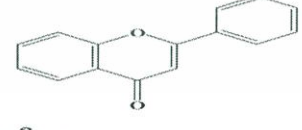
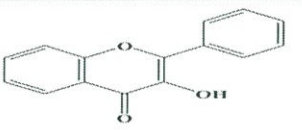
2.1.3.6 ไอโซฟลาโวน (Isoflavones) เช่น เดดซีน (Daidzein) จีนิสตี้น (Genistein)  
ไกลซิตี้น (Glycitein) ฟอร์โมนอนเนติน (Formononetin)

2.1.3.7 แอนโทไซยานิดิน (Anthocyanidins) เช่น ไชยานิดิน (Cyanidin)  
เดลฟินิดิน (Delphinidin) มอลวิดิดิน (Malvidin) พีลาร์โกนินิดิน  
(Pelargonidin) พีโอนินิดิน (Peonidin) พีทูนิดิน (Petunidin)



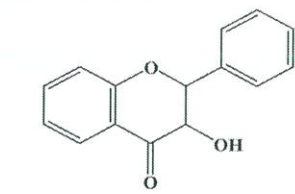
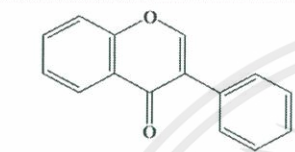
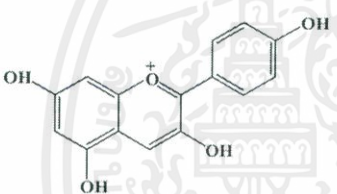
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)  
(ที่มา : วิภพ, 2556)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของฟลาโวนอยด์โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่แทนที่  
(ที่มา : วิภพ, 2556)

สูตรโครงสร้าง	ตัวอย่าง ฟลาโวนอยด์	หมู่แทนที่					
		5	6	7	3'	4'	5'
 ฟลาวาโนน	ฮิโรดิคทีฮอล	OH	H	OH	OH	OH	H
	เฮสเพอริดีน	OH	H	OH	OH	OCH	H
	นารินจีนิน	OH	H	OH	H	OH	H
 ฟลาวานอล	แคทีชิน	H	H	H	H	H	H
	แกลโลแคทีชิน	H	H	H	OH	OH	OH
 ฟลาโวน	อาฟิจินิน	OH	H	OH	H	OH	H
	โครทิน	OH	H	OH	H	H	H
	ลูติโอสลิน	OH	H	OH	OH	OH	H
 ฟลาโวนอล	แคมป์เฟอร์อล	OH	H	OH	H	OH	H
	ไมริซิดิน	OH	H	OH	OH	OH	OH
	เคอร์ซิดิน	OH	H	OH	OH	OH	H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของฟลาโวนอยด์โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่แทนที่ (ต่อ)

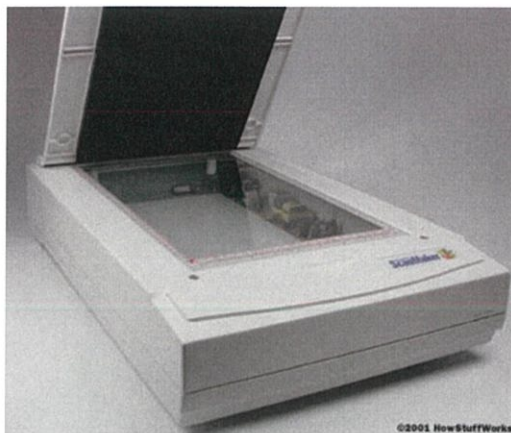
สูตรโครงสร้าง	ตัวอย่าง ฟลาโวนอยด์	หมู่แทนที่					
		5	6	7	3'	4'	5'
 ฟลาวานอล	แทกซิโพลิน	OH	H	OH	OH	OH	H
 ไอโซฟลาโวน	เดดซีน	H	H	OH	H	OH	H
	จินิสติน	OH	H	OH	H	OH	H
	ไกลซิติน	OH	OCH	OH	H	OH	H
	ฟอร์โมนเนติน	H	H	OH	H	OCH	H
 แอนโทไซยานิดิน	เดลฟินิดิน	OH	H	OH	OH	OH	OH
	ไซยานิดิน	OH	H	OH	OH	OH	H
	มาลวิติน	OH	H	OH	OCH	OH	OCH <sub>3</sub>
	ฟิโอนิดิน	OH	H	OH	OCH	OH	H
	พิลาร์โกนิน	OH	H	OH	H	OH	H
	ฟิทุนิดิน	OH	H	OH	OH	OH	OCH <sub>3</sub>

## 2.2 การตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพโดยใช้เครื่องบันทึกภาพ

### 2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล

เครื่องบันทึกภาพหรือสแกนเนอร์ มีหลักการทำงาน คือ จะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสง กับภาพต้นฉบับที่ทึบแสง หรือโปร่งแสง ให้ตกกระทบกับ แถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ภาพต้นฉบับจะถูกจับโดยเซลล์ที่ไวต่อแสง เรียกว่า charge-coupled device หรือ CCD ส่วน CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ใน เส้นเล็ก ๆ ของเซลล์ และจะแปลงคลื่นแสง ของแต่ละเซลล์เล็กๆ ให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล หรือ ADC : Analog to Digital Converter จะแปลงคลื่นความต่างศักย์ ให้เป็นข้อมูล ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ ในเวลาเดียวกัน โปรแกรมในการอ่าน จะควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านภาพ ให้รับข้อมูลเข้า และจัดรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลของภาพ ในระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อัจฉริยะ, 2004.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

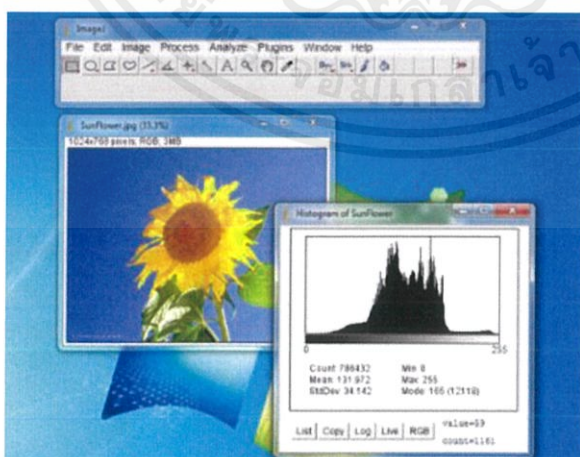


ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างเครื่องสแกน

(ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาการกระบวนกรเรียนรู้, 2004.)

### 2.2.2 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัล (Image J Program)

Image J Program เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์อย่างมากในงานวิจัย มีความสามารถในการคำนวณพื้นที่และพิกเซลของภาพจากการกำหนดจากผู้ใช้ และสามารถวัดระยะห่างและมุมได้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮิสโตแกรม (Density histogram) และ กราฟเส้นสำหรับภาพได้ สนับสนุนการประมวลผลภาพแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น Contrast Manipulation, Sharpening, Smoothing, Edge Detection และ Median Filtering ทำงานโดยคำสั่ง Analyze, Process และ คำสั่งอื่น ๆ บันทึกไฟล์ในรูปแบบ 8 - bit, 16 - bit, 32 - bit และไฟล์ที่ตัวโปรแกรมอ่านได้ต้องบันทึกเป็นไฟล์ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS หรือ RAW ข้อดีของ Image J คือ อนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขตัวโปรแกรมและหา Plugin อื่นๆ เพื่อมาช่วยแก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์ภาพ จากภาพดิจิทัลนำมาเปลี่ยนเป็นข้อมูลระบบค่าสีชนิดต่าง ๆ ในตอนที่ 2.2.2.1



ภาพที่ 2.5 Image J Program

(ที่มา : โลกไอทีที่ไม่หยุดนิ่ง, 1999-2017.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

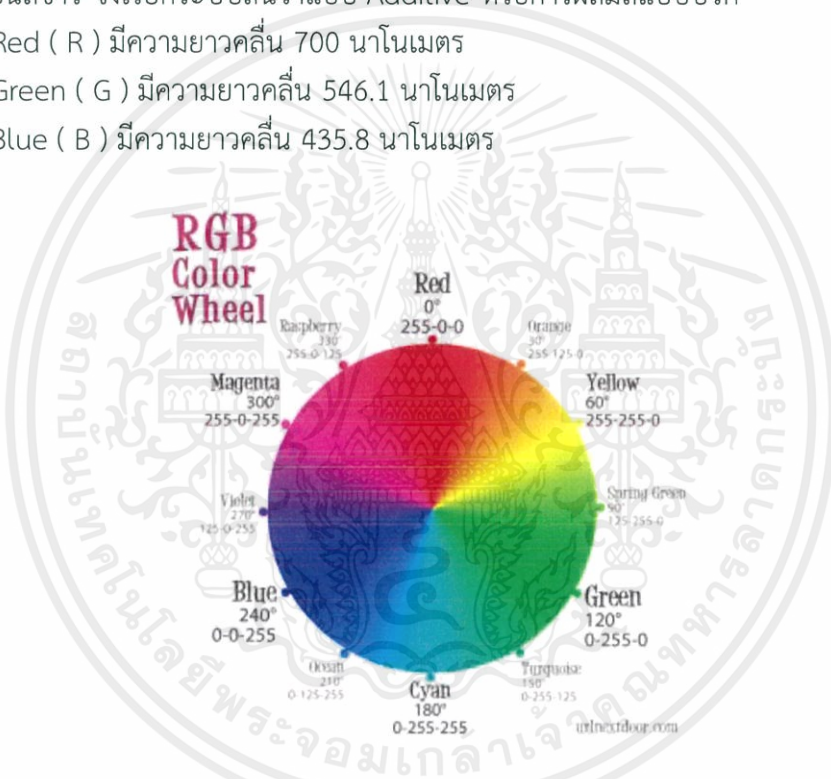
### 2.2.2.1 การแปลงภาพถ่ายดิจิทัลเป็นระบบค่าสีชนิดต่าง ๆ

การแปลงภาพถ่ายดิจิทัลให้เป็นระบบค่าสีชนิดต่าง ๆ โดยตอนที่ 2.2.2 สามารถแปลงข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลเป็นระบบค่าสีได้หลากหลาย เช่น ระบบค่าสี RGB, XYZ, CMYK, HLS, L\*a\*b\*, CIE และ HSV เป็นต้น ในการนี้จึงสนใจระบบค่าสีที่มีแนวโน้มให้ความสัมพันธ์กับการสกัดสารทางเคมีในการหาปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช คือ ระบบค่าสี RGB และ HLS

#### 2.2.2.1.1 ระบบค่าสี RGB (ที่มา : มนตรี, 2544.)

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีที่มีความเข้มมากนำมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก

- Red ( R ) มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร
- Green ( G ) มีความยาวคลื่น 546.1 นาโนเมตร
- Blue ( B ) มีความยาวคลื่น 435.8 นาโนเมตร

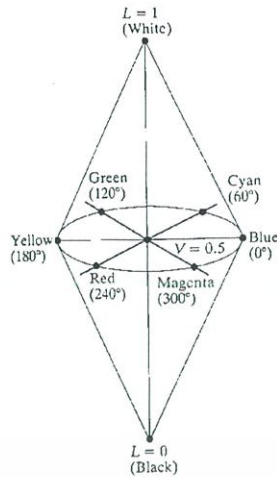


ภาพที่ 2.6 ระบบสี RGB  
(ที่มา : ธนสันต์, 2013-2014.)

#### 2.2.2.1.2 ระบบค่าสี HSL

ระบบสีแบบ HSL (Hue lightness saturation) พัฒนาโดย Teletromix Incorporated ลักษณะสีของระบบจะขึ้นอยู่กับ Hue Saturation และ Lightness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 แสดงระบบสี HSL

(ที่มา : มนตรี, 2544.)

Hue คือค่าของสีหลักซึ่งมีสีน้ำเงินอยู่ที่ 0 องศา สีเขียวอยู่ที่ 120 องศา และสีแดงอยู่ที่ 240 องศา  
Lightness คือค่าความสว่างซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ L = 0 จะเป็นสีดำ L = 1 จะเป็นสีขาว สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{lightness} = \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{2}$$

(ที่มา : มนตรี, 2544.)

Saturation คือเป็นค่าบ่งชี้ความสดใสเจิดจ้า และความหม่น ของสี การผสมของสีกลาง (เทา) มีค่าความแตกต่าง เป็นเปอร์เซ็นต์ เริ่มจาก 0% หมายถึง ไม่มีสี หรือสีหม่น ออกไปทางเทา ไป จนถึง 100% หมายถึงค่าของสีที่สดใส เจิดจ้าที่สุด หรือ ความบริสุทธิ์ของสีสามารถคำนวณหาได้ดังนี้คือ

$$\text{saturation} = \begin{cases} \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) + \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} \text{ if } L \leq 0.5 \\ \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{2 - \max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} \text{ if } L > 0.5 \end{cases}$$

(ที่มา : มนตรี, 2544.)

### 2.3 การตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพโดยการสกัดทางเคมี

การสกัดเม็ดสีชีวภาพทางเคมีส่วนมากใช้สารเคมีในการสกัดเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช มีหลากหลายชนิด ได้แก่ Acetone ใช้ในการสกัดกลุ่มคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ส่วนอัตราส่วน Methanol Hydrochloric Acid และน้ำ ใช้ในการสกัดฟลาโวนอยด์ ในการนี้สนใจคุณสมบัติของสารเคมีข้างต้นที่ใช้สกัดเม็ดสีชีวภาพและการตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชจากการทดลองทางเคมีภายในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดเม็ดสีชีวภาพ

#### 2.3.1.1 Acetone

เป็นสารทำละลายระเหยง่ายใช้ในการเตรียมสกัดสารทางเคมีสำหรับสกัดสารจากพืช คุณสมบัติเฉพาะของสารนี้ คือ มีมวลโมเลกุล 58.08 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี จุดเดือด 56.5 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว - 95 องศาเซลเซียสมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.79 สามารถละลายน้ำได้ดี

#### 2.3.1.2 Methanol

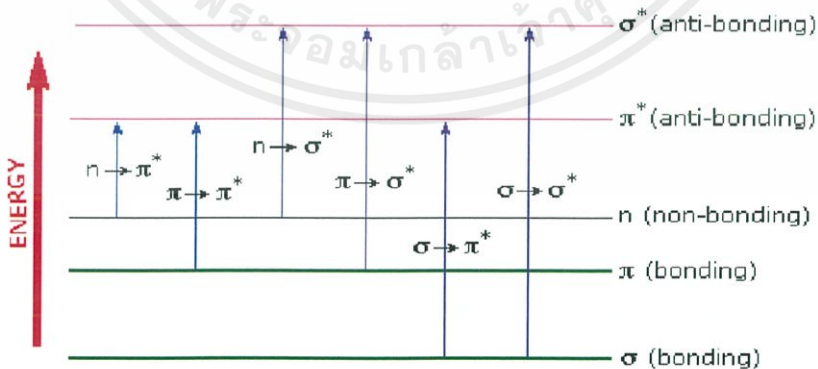
เป็นสารทำละลายระเหยง่ายเป็นพิษนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในธรรมชาติ คุณสมบัติเฉพาะของสารนี้ คือ มีมวลโมเลกุล 32.05 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี จุดเดือด 64.7 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว - 97 องศาเซลเซียสมีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.79 สามารถละลายน้ำได้ดี

#### 2.3.1.3 Hydrochloric Acid

เป็นกรดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงเป็นอันตรายหากสัมผัส คุณสมบัติเฉพาะของสารนี้ คือ มีมวลโมเลกุล 36.46 กรัม มีลักษณะเป็นของเหลวใสออกเหลือง หรือ ของเหลวไม่มีสี จุดเดือด 110 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว - 27.32 องศาเซลเซียสมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.18

### 2.3.2 การตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช

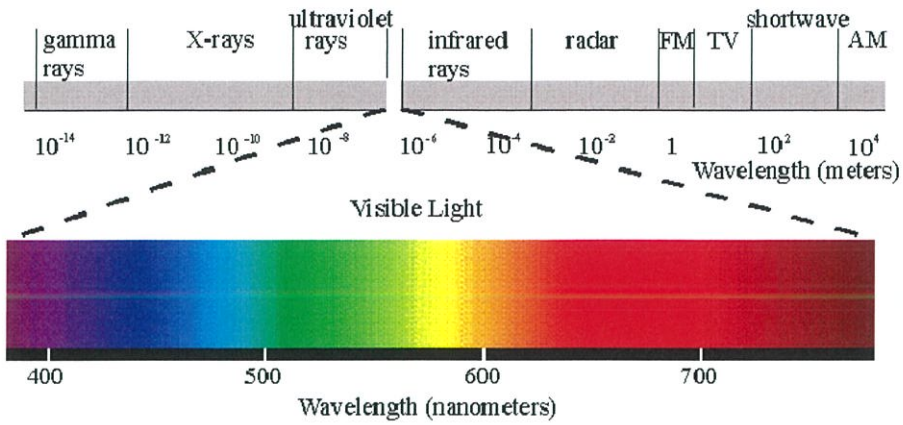
การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer เป็นวิธีการพื้นฐานเพื่อหาปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สารละลายทางเคมี เช่น อะซิโตน ในการสกัดและนำไปวิเคราะห์ข้อมูลวัดค่าความเข้มข้นของธาตุหรือสารประกอบ อาศัยหลักการพื้นฐาน คือ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุล จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น



ภาพที่ 2.8 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV - Visible

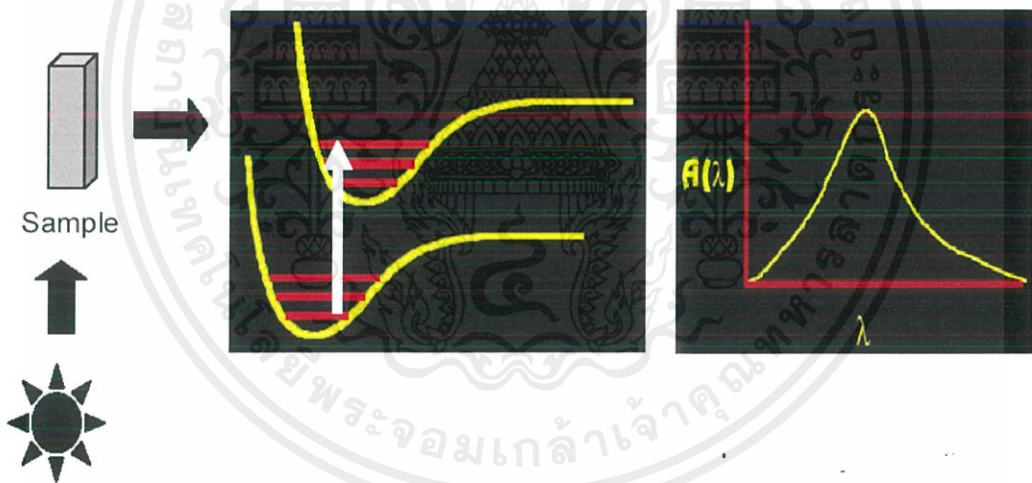
(ที่มา : เบญจา, 2551.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 ช่วงความยาวคลื่นของ Electromagnetic Spectrum  
(ที่มา : เบญจา, 2551.)

เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับพลังงานในช่วงคลื่นแสงที่ ตรงกับ electronic transition ของ อิเล็กตรอนภายในโมเลกุล พลังงานจะถูกดูดกลืนและ อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะมี higher energy orbital



ภาพที่ 2.10 การดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล  
(ที่มา : เบญจา, 2551.)

เครื่อง spectrophotometer จะบันทึกความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืนแสงและ ปริมาณ การดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่น

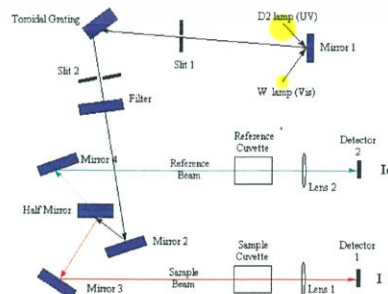
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของสีและการดูดกลืนแสง

Wavelength of absorbance maximum (nm)	Color Absorbed	Color Remaining
380-420	Violet	Green-yellow
420-440	Violet-blue	Yellow
440-470	Blue	Orange
470-500	Blue-green	Red
500-520	Green	Purple
520-550	Yellow-green	Violet
550-580	Yellow	Violet-blue
580-620	Orange	Blue
620-680	Red	Blue-green
680-780	Purple	Green

(ที่มา : เบนญา, 2551.)

ระบบแสงภายในเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ซึ่งมีส่วนประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง 2 ชนิดคือ Deuterium (D2) lamp ซึ่งให้คลื่นแสงในช่วง UV และ Tungsten (W) lamp ซึ่งให้คลื่นแสงในช่วง visible หลักการทำงาน เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบที่ mirror1 ลำแสงจะผ่านไปยัง slit และไปตกกระทบที่ diffraction grating ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะถูกออกแบบให้สามารถ หมุนเพื่อเลือกความยาวคลื่นแสงที่เฉพาะเจาะจง หลังจากนั้น monochromatic light (แสงซึ่งมีความยาวคลื่นเดียว) จะผ่านไปยัง slit และ filter จะทำหน้าที่กรองแสงที่รบกวน ออก จากนั้นลำแสงจะตกกระทบ mirror 2 ก่อนที่จะสะท้อนและแบ่งออกเป็นสองส่วนโดย half mirror โดยครึ่งหนึ่งของลำแสงจะสะท้อนจะผ่านไปยัง reference cuvette ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบภายในของเครื่อง UV - Visible Spectrophotometer

(ที่มา : เบนญา, 2551.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง ทางด้านคุณภาพและปริมาณโดย ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสามารถใช้ใน การจำแนก ชนิดของสารในขณะที่มีปริมาณการดูดกลืนแสง จะใช้ในการบอกปริมาณของ สารที่นำมาวิเคราะห์ การหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law

$$A = \epsilon bc$$

$A$  = ค่าการดูดกลืนแสง

$\epsilon$  = molar absorptivity ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ )

$b$  = path length

$c$  = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์ ( $mol \cdot L^{-1}$ )

## 2.4 การตรวจสอบเมตาสีเขียวภาพโดยใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์

Prajakta, P. และ Anup, V. : 2014 ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและวิจารณ์เกี่ยวกับวิธีการวัดและเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีวิธีการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์

หลักการการทำงานของ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นวิธีการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น เพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ  $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$  โดย NIR คือ การสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (%) และ RED คือ การสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (%) ทำให้ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 จะช่วยให้การแปลผลง่ายขึ้น กล่าวคือ ค่า 0 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึงมีพวกพืชพรรณใบพืชเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว หากเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช หาก NDVI มีค่าเท่ากับ 0.9 แสดงว่าใบพืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากแต่ถ้า NDVI มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าใบพืชไม่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ จากหลักการข้างต้นจึงนำมาพัฒนาเป็นคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (Chlorophyll meter) เพื่อวัดปริมาณคลอโรฟิลล์โดยใช้หลักการการส่องผ่านของแสง คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงสีแดงในช่วง 650 นาโนเมตรได้และไม่ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด 940 นาโนเมตรจึงสะท้อนแสงสีเขียวออกมา ค่าที่อ่านได้ผันแปรตามความเขียวของใบ Soil Plant Analysis Development (SPAD) และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบพืช กำหนดให้มีหน่วยเป็น SPAD และ  $\mu mol/m^{-2}$  ในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ Minolta SPAD 502 ใช้หาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่น่าเชื่อถือได้

## 2.5 เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อประมาณปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช

Image Processing Techniques used for estimating Chlorophyll เป็นวิธีการวัดหาค่าปริมาณคลอโรฟิลล์จากภาพถ่ายดิจิทัลโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากระบบค่าสี Red Green Blue (RGB) จากนั้นนำไปทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการสกัดสาร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองค่าจาก R - Square หากค่า R - Square ที่ได้มีความใกล้เคียง 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองค่ามีความสัมพันธ์กัน จากข้อมูลข้างต้นทำให้มีงานวิจัยที่นำวิธีการดังกล่าวมาพัฒนาหาปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างง่าย ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ali. และ คณะ : 2012 ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ในพืชด้วยเทคนิคพื้นฐานของการประมวลผลภาพ โดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัลและหาสมการของระบบค่าสี RGB ในการบ่งบอกปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในพืช Mahdi M. พบว่า สมการที่แสดงค่าความสัมพันธ์ R - squared ที่ให้ค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ

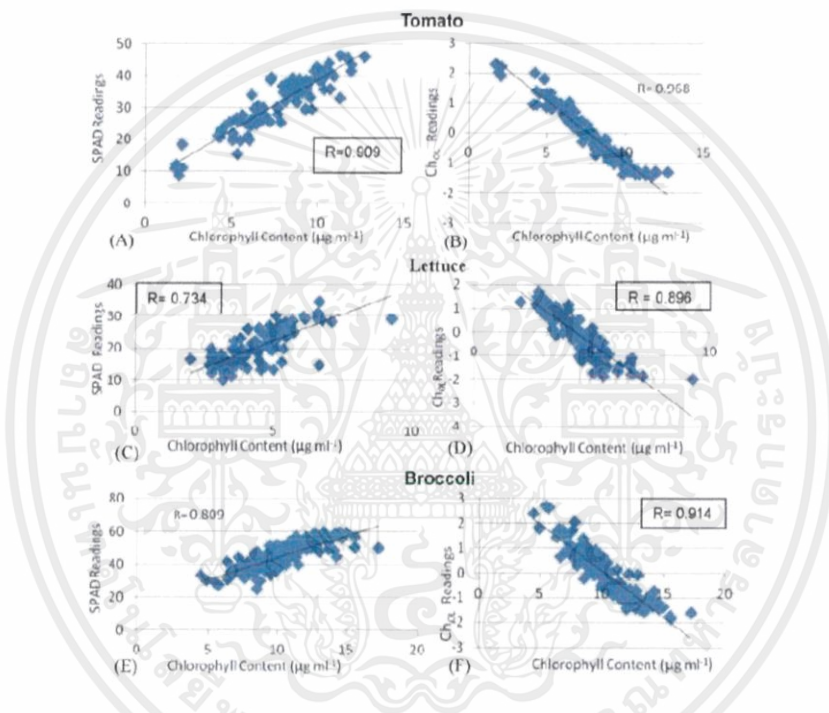
$$Ch_{OL} = \text{logsig} \left( \frac{G - \frac{R}{3} - \frac{B}{3}}{255} \right) \mu\text{g.ml}^{-1}$$

Where :

$Ch_{OL}$  : Chlorophyll estimation by (Our Proposed Image Processing Technique) Optileaf

G : Green Colour : Red Colour : Blue Colour

(ที่มา : Ali และคณะ., 2012)



ภาพที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $Lab_{Ch}$  และ เครื่องอ่านวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ SPAD 502 (A, C and E) และ  $Ch_{OL}$  (B, D and F) for tomato, lettuce and broccoli

(ที่มา : Ali และคณะ., 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของสมการที่มีการพัฒนาร่วมกับผลที่ได้จากการสกัดคลอโรฟิลล์ทางเคมีของมะเขือเทศ ผักกาดหอม และบร็อคโคลี่

(ที่มา : Ali และคณะ., 2012)

IP based Ch method	Developed model	Correlation Coefficient		
		Tomato	Lettuce	Broccoli
(a)	$(R-B)/(R+B)$	-0.906	-0.576	-0.724
(b)	$G/(R+G+B)$	-0.277	0.562	-0.489
(c)	R	-0.874	-0.868	-0.815
(d)	$R/(R+G+B)$	-0.765	-0.795	-0.692
(e)	G/R	0.498	0.768	0.116
(f)	R+G	-0.926	-0.878	-0.849
Ch <sub>OL</sub>	Ch <sub>OL</sub>	0.968	0.896	0.914

ในตารางที่ 2.3 พบว่าสมการ Ch<sub>OL</sub> ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ดังนั้นการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลหาปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชโดยไม่ต้องทำลายใบพืชด้วยสารเคมีสามารถหาปริมาณได้ใกล้เคียงกับเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างง่ายด้วยเครื่อง SPAD 502

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการสกัดเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช

##### 3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- 3.1.1.1 ปีกเกอร์
- 3.1.1.2 เครื่องชั่งสาร
- 3.1.1.3 หลอด Microcentrifuge
- 3.1.1.4 หลอด Centrifuge
- 3.1.1.5 Forceps
- 3.1.1.6 กรรไกร
- 3.1.1.7 Plate
- 3.1.1.8 Tips
- 3.1.1.9 Micropipette
- 3.1.1.10 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
- 3.1.1.11 เครื่อง Shaker
- 3.1.1.12 เครื่อง Spectrophotometer
- 3.1.1.13 คิวเวทท์
- 3.1.1.14 ช้อนตักสาร (Spatula)
- 3.1.1.15 เครื่อง Vortex

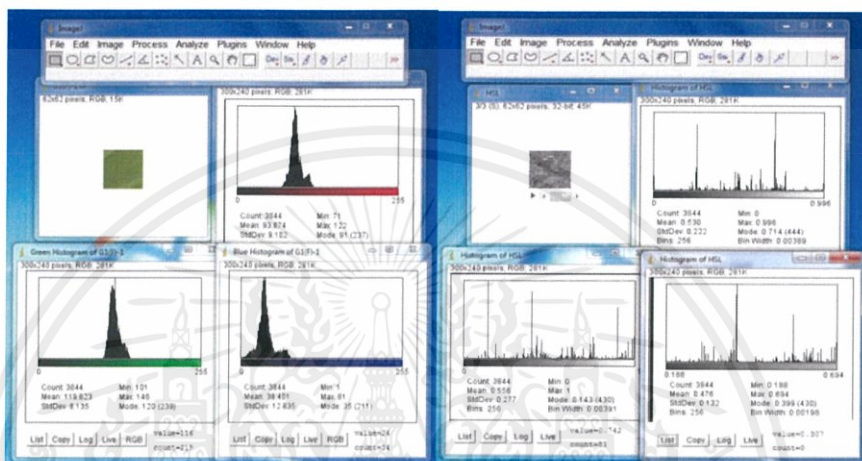
##### 3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 ไนโตรเจนเหลว
- 3.1.2.2 อะซิโตน
- 3.1.2.3 น้ำกลั่น
- 3.1.2.4 เมทานอล
- 3.1.2.5 กรดไฮโดรคลอริก
- 3.1.2.6 คลอโรฟอร์ม

### 3.2 การบันทึกภาพถ่ายใบพืชในระบบดิจิทัลและวิเคราะห์ภาพถ่าย

เก็บใบไม้มาจำแนกกลุ่มตามสีใบไม้ที่แตกต่างกันและทำการบันทึกภาพถ่ายใบไม้ในแต่ละกลุ่มด้วยเครื่องสแกน โดยแต่ละกลุ่มสีมีตัวอย่างใบไม้ไม่น้อยกว่า 3 ใบ จากนั้นนำไปกำหนดจุด 8 จุดเพื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของระบบค่าสี Red Green Blue (RGB) และ Hue Saturation Lightness (HSL)

จากข้างต้นที่กล่าวมา ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Image J เพื่อหาค่าสีในระบบ RGB และ HSL



ก. ระบบ RGB

ข. ระบบ HSL

ภาพที่ 3.1 แสดงการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อหาระบบค่าสี

ก. ระบบ RGB ข.ระบบ HSL

### 3.3 วิธีการสกัดเม็ดสีชีวภาพ

#### 3.3.1 คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์

นำใบไม้ไปบดด้วยไนโตรเจนเหลวให้ละเอียด เติมน้ำสารเคมีอะซิโตนลงไปในตัวอย่าง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นดูดสารส่วนที่ใสใส่ขวดแก้ว เพื่อวัดค่าดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร 644 นาโนเมตร และ 470 นาโนเมตร ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer หาค่าปริมาณ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ ในหน่วย ( $\mu\text{g/gFW}$ )

สูตรคำนวณ (ที่มา : Carol, 1994.)

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ} = [9.784\text{OD}662] - [0.990\text{OD}644] \text{ (}\mu\text{g/gFW)}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี} = [21.420\text{OD}644] - [4.650\text{OD}662] \text{ (}\mu\text{g/gFW)}$$

$$\text{แคโรทีนอยด์} = \frac{[10000\text{OD}470] - [1.9\text{คลอโรฟิลล์ เอ}] - [63.14\text{คลอโรฟิลล์ บี}]}{214} \text{ (}\mu\text{g/gFW)}$$

โดย ค่า OD662 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร

ค่า OD644 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 644 นาโนเมตร

ค่า OD470 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ฟลาโวนอยด์

นำใบไม้ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก ใส่หลอด Centrifuge ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 0.5 กรัม จากนั้นนำไปบดในสารเคมีในโตรเจนเหลวด้วยข้อตักสารให้ละเอียด เติมสารสกัดฟลาโวนอยด์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex และนำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 250 rpm ด้วยเครื่อง Shaker นานเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เติมสารเคมี คลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นทำให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm นานเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) หลังจากนั้นดูดสารส่วนที่ใสหลอด Microcentrifuge เพื่อวัดค่าดูดกลืนแสงของกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer หาค่า ฟลาโวนอยด์ ในหน่วย (Abs/gFW)

สูตรคำนวณ (ที่มา : Harborne, 1998 )

$$\text{Flavonoid concentrations} = \frac{\text{OD} \times \text{DF}}{\text{gFW}} \text{ (Abs/gFW.)}$$

โดย ค่า OD คือ ค่าการดูดกลืนแสง

ค่า DF คือ ค่าอัตราส่วนการเจือจาง

ค่า gFW คือ น้ำหนักของใบไม้

### 3.4 การออกแบบสมการแปลงระบบค่าสีชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 3.1 แสดงสมการของระบบค่าสี RGB และ HSL

ระบบสี RGB	ระบบสี HSL
R	H
G	S
B	L
R/G	H/S
R/B	H/L
B/R	L/H
B/G	L/S
G/R	S/H
G/B	S/L
R+B	H+L
R+G	H+S
B+G	L+S
R-B	H-L
R-G	H-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงสมการของระบบค่าสี RGB และ HSL (ต่อ)

ระบบสี RGB	ระบบสี HSL
B-G	L-S
B-R	L-H
G-R	S-H
G-B	S-L
R+G+B	H+S+L
R-G-B	H-S-L
$(G+B)/(R+B)$	$(S+L)/(H+L)$
$(G-B)/(R-B)$	$(S-L)/(H-L)$
$(R-B)/(R+B)$	$(H-L)/(H+L)$
$R/(R+G+B)$	$H/(H+S+L)$
$G/(R+G+B)$	$S/(H+S+L)$
$B/(R+G+B)$	$L/(H+S+L)$
$(G-B)/(G+B)$	$(S-L)/(S+L)$
$(G+B)/(G-B)$	$(S+L)/(S-L)$
$(R+B)/(G+B)$	$(H+L)/(S+L)$
$(R+G)/(R-G)$	$(H+S)/(H-S)$
$(R+G-B/2)/(R+G+B/2)$	$(H+S-L/2)/(H+S+L/2)$
$(R-G)/(2-B)/2)$	$(H-S)/(2-L)/2)$

### 3.5 การหาความสัมพันธ์ของค่าการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีสีภาพ

นำระบบค่าสี RGB และ HSL ที่ได้จากตอนที่ 3.4 นำมาหาสมการความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มให้ความสัมพันธ์กับสารสกัดทางเคมีสูง ค่า R - Square บ่งบอก ถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้อธิบายการเปรียบเทียบ พบว่า หากค่า R - Square มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมาก แต่หากค่า R - Square มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย

### 3.6 การทดสอบการใช้สมการของระบบค่าสี

นำสมการของระบบค่าสี RGB และ HSL ที่มีความสัมพันธ์กับเม็ดสีสีภาพมาทำการทดสอบการคาดคะเนปริมาณเม็ดสีสีภาพในเนื้อเยื่อพืช ว่า หากนำตัวอย่างช่วงสีของไปไม้ที่จุดใดๆ นั้นไปทำการวิเคราะห์ค่าระบบสี RGB และ HSL จะมีค่าปริมาณเม็ดสีสีภาพใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ มีการจำแนกกลุ่มตามสีของใบไม้ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ





- 1) สีเขียวเข้ม คือ Dark-Green ซึ่งแทนสัญลักษณ์ย่อ DG
- 2) สีเขียวอ่อน คือ Light-Green ซึ่งแทนสัญลักษณ์ย่อ LG
- 3) สีเขียวปนสีแดง คือ Green-Red ซึ่งแทนสัญลักษณ์ย่อ G-R
- 4) สีแดง คือ Red ซึ่งแทนสัญลักษณ์ย่อ R

จากตัวอย่างใบไม้ที่จำแนกกลุ่มตามสีของใบพืช นำมาบันทึกภาพถ่ายดิจิทัล และนำภาพถ่ายไปกำหนดจุด เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลค่าเฉลี่ยของระบบค่าสี RGB และ HSL จากนั้นนำไปหาความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าเฉลี่ยของระบบค่าสีและค่าที่ได้จากการสกัดเม็ดสีชีวภาพ

#### 4.1 ข้อมูลภาพใบพืชที่ได้จากการบันทึกภาพ

นำตัวอย่างใบไม้ที่จำแนกกลุ่มตามสีของใบพืช มาบันทึกภาพและนำไปวิเคราะห์ข้อมูลภาพ โดยการกำหนดจุด 8 จุด เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลค่าเฉลี่ยของระบบค่าสี RGB ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยระบบค่าสี RGB ที่ได้จากการบันทึกภาพของใบพืชกลุ่มสีต่าง ๆ

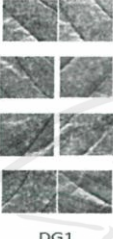
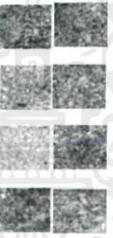
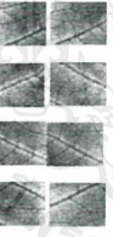
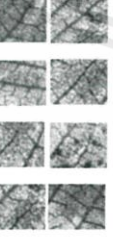
ลำดับที่	ตัวอย่างข้อมูลภาพ	ตัวอย่างทดลอง	R	G	B
1		DG1	37.832	58.476	27.879
		DG2	35.759	56.955	24.437
		DG3	38.833	60.654	24.435
2		LG1	57.428	81.673	29.765
		LG2	54.785	79.876	29.025
		LG3	59.321	83.581	28.809
3		G-R1	92.197	78.680	29.499
		G-R2	91.058	79.695	34.413
		G-R3	91.522	81.736	32.784
4		R1	122.126	69.431	54.082
		R2	120.191	72.951	53.114
		R3	123.531	72.238	53.731

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่า การวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยระบบค่าสี RGB บ่งบอกความแตกต่างของการจำแนกกลุ่มตามสีของใบไม้ได้อย่างชัดเจน ในแต่ละกลุ่มตามสีของใบไม้จะมีค่า RGB ที่เฉพาะเจาะจงให้ค่าสีไม่เท่ากัน ในกลุ่มใบไม้สีแดง มีค่าสี R และ B มากที่สุด และในกลุ่มใบไม้สีเขียวอ่อนมีค่าสี G มากที่สุด ส่วนในกลุ่มใบไม้สีเขียวเข้มมีค่าสี RGB น้อยที่สุด

นำตัวอย่างใบไม้ที่จำแนกกลุ่มตามสีของใบพืช มาบันทึกภาพและนำไปวิเคราะห์ข้อมูลภาพโดยการกำหนดจุด 8 จุด เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลค่าเฉลี่ยของระบบค่าสี HSL ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระบบค่าสี HSL ที่ได้จากการบันทึกภาพของใบพืชกลุ่มสีต่าง ๆ

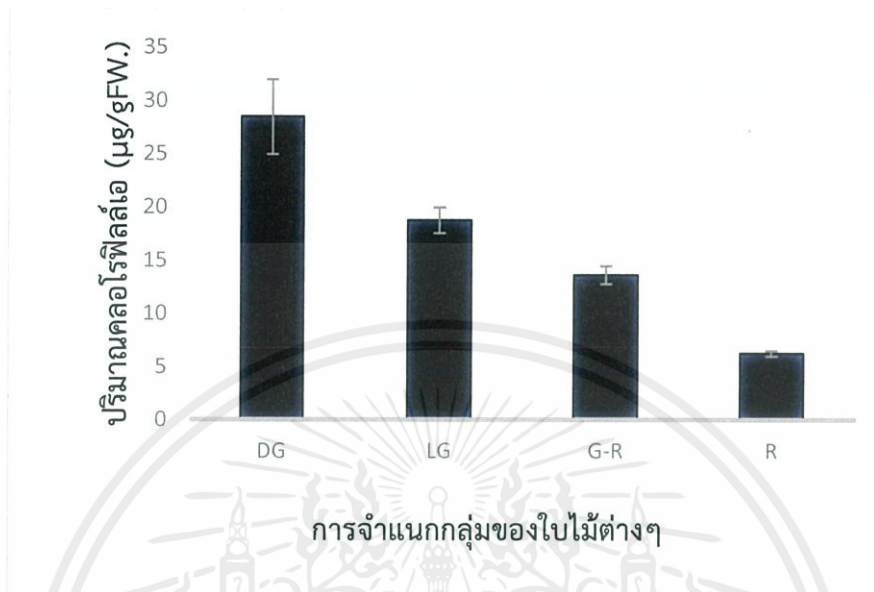
ลำดับที่	ตัวอย่างข้อมูลภาพ	ตัวอย่างทดลอง	H	S	L
1		DG1	0.432	0.169	0.280
		DG2	0.468	0.160	0.276
		DG3	0.477	0.167	0.267
2		LG1	0.491	0.219	0.246
		LG2	0.506	0.214	0.249
		LG3	0.508	0.221	0.241
3		G-R1	0.540	0.239	0.131
		G-R2	0.487	0.246	0.133
		G-R3	0.511	0.244	0.139
4		R1	0.394	0.346	0.037
		R2	0.393	0.340	0.049
		R3	0.402	0.348	0.044

จากตารางที่ 4.2 พบว่า การวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยระบบค่าสี HSL บ่งบอกความแตกต่างของการจำแนกกลุ่มตามสีของใบไม้ได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกับระบบค่าสี RGB ในแต่ละกลุ่มตามสีของใบไม้จะมีค่า HSL ที่เฉพาะเจาะจงให้ค่าสีไม่เท่ากัน ในกลุ่มใบไม้สีแดง มีค่าสี S มากที่สุดแต่มีค่าสี H และ L น้อยที่สุด และในกลุ่มใบไม้สีเขียวปนสีแดงมีค่าสี H มากที่สุด ส่วนในกลุ่มใบไม้สีเขียวเข้มมีค่าสี S น้อยที่สุด มีค่าสี L มากที่สุด

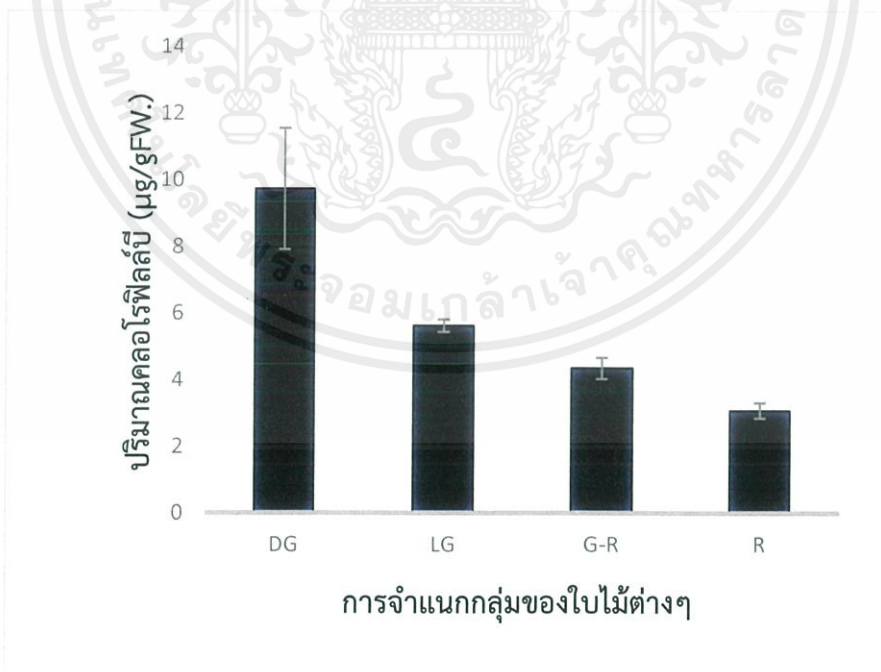
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ค่าสารสกัดเม็ดสีชีวภาพจากใบพืช

นำตัวอย่างใบไม้ที่บันทึกภาพในตอนต้นที่ 4.1 มาทำการสกัดเม็ดสีชีวภาพทางเคมีเพื่อหาปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช พบว่า มีปริมาณเม็ดสีชีวภาพ ดังกราฟแสดงตามภาพที่ 4.1 - 4.4

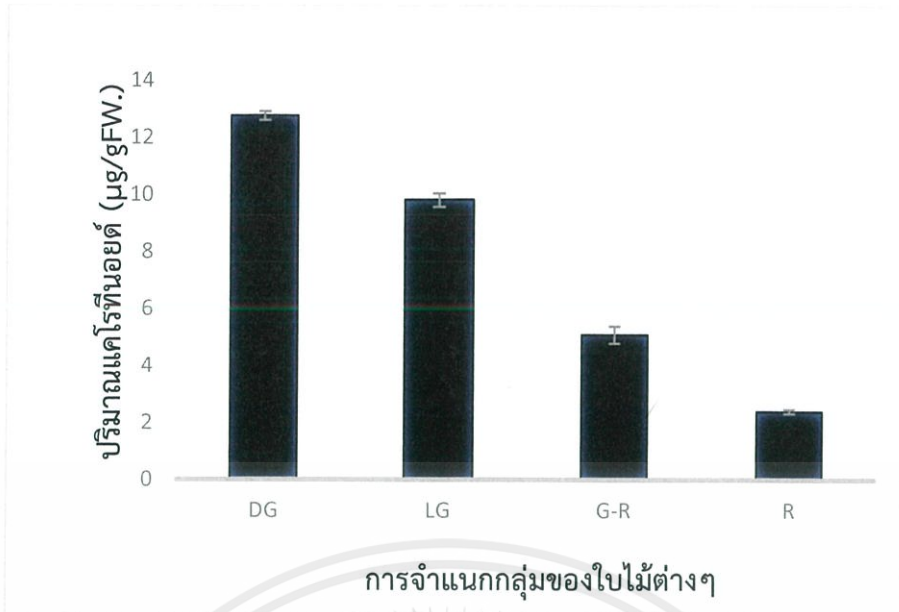


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ 4. Red (R)



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ 4. Red (R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ 4. Red (R)







ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าปริมาณไซยานิดิน ที่ได้จากการสกัดทางเคมีจากการจำแนกกลุ่มของใบไม้ต่าง ๆ 1. Dark-Green (DG) 2. Light-Green (LG) 3. Green-Red (G-R) และ 4. Red (R)

จากภาพที่ 4.1 - 4.4 กราฟแสดงค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการทดลองทางเคมี โดยจำแนกกลุ่มของใบไม้ตามสีต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ มีมากที่สุดใใบไม้กลุ่มสีเขียวเข้ม และพบว่า ปริมาณของไซยานิดิน มีมากที่สุดใใบไม้กลุ่มสีแดง ดังรูปในตารางที่ 4.3

จากข้อมูลกราฟแสดงปริมาณเม็ดสีชีวภาพข้างต้น สามารถสรุปผลค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการสกัดทางเคมี ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการจำแนกสีของใบไม้และค่าการสกัดทางเคมีของเม็ดสีชีวภาพ

ลำดับที่	ตัวอย่างใบไม้	เม็ดสีชีวภาพ	ค่าจากการสกัด	หน่วย
1		คลอโรฟิลล์ เอ	28.449±3.505	µg/gFW.
		คลอโรฟิลล์ บี	9.726±1.820	µg/gFW.
		แคโรทีนอยด์	12.758±0.153	µg/gFW.
		ไซยานิดิน	0.184±0.006	Abs/gFW.
2		คลอโรฟิลล์ เอ	18.748±1.221	µg/gFW.
		คลอโรฟิลล์ บี	5.615±0.176	µg/gFW.
		แคโรทีนอยด์	9.808±0.232	µg/gFW.
		ไซยานิดิน	0.722±0.046	Abs/gFW.
3		คลอโรฟิลล์ เอ	13.582±0.846	µg/gFW.
		คลอโรฟิลล์ บี	4.338±0.323	µg/gFW.
		แคโรทีนอยด์	5.082±0.298	µg/gFW.
		ไซยานิดิน	4.447±0.459	Abs/gFW.
4		คลอโรฟิลล์ เอ	6.225±0.258	µg/gFW.
		คลอโรฟิลล์ บี	3.080±0.228	µg/gFW.
		แคโรทีนอยด์	2.392±0.063	µg/gFW.
		ไซยานิดิน	14.447±0.932	Abs/gFW.

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณเม็ดสีชีวภาพ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ มากที่สุดในกลุ่มพืชที่มีสีเขียวเข้ม มีค่าเท่ากับ 28.449±3.505, 9.726±1.820 และ 12.758±0.153 µg/gFW ตามลำดับ และคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์น้อยที่สุดในกลุ่มพืชที่มีสีแดง มีค่าเท่ากับ 6.225±0.258, 3.080±0.228 และ 2.392±0.063 µg/gFW ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณเม็ดสีชีวภาพในกลุ่มพลาไวโนอยด์ เช่น ไซยานิดิน มากที่สุดในกลุ่มพืชที่มีสีแดง มีค่าเท่ากับ 14.447±0.932 Abs/gFW และน้อยที่สุดในกลุ่มพืชที่มีสีเขียวเข้ม มีค่าเท่ากับ 0.184±0.006 Abs/gFW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ค่าความสัมพันธ์ของค่าการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพ

สมการที่แปลงค่าสีชนิดต่างๆและออกแบบดังแสดงในตารางที่ 4.4 - 4.7 สมการนี้ได้นำไปหาค่าความสัมพันธ์ของระบบค่าสีกับค่าการสกัดเม็ดสีชีวภาพ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของคลอโรฟิลล์เอ

ลำดับ	สมการ	คลอโรฟิลล์เอ
1	R	-0.922
2	G	-0.271
3	B	-0.744
4	R-B	-0.885
5	$(G+B)/(R+B)$	0.844
6	$(G-B)/(R-B)$	0.905
7	$(R-B)/(R+B)$	-0.583
8	$R/(R+G+B)$	-0.866
9	$G/(R+G+B)$	0.779
10	$B/(R+G+B)$	0
11	$(G-B)/(G+B)$	0.412
12	$(G+B)/(G-B)$	-0.487
13	$(R+B)/(G+B)$	-0.824
14	$(R+G)/(R-G)$	-0.298
15	$(R+G-B/2)/(R+G+B/2)$	0
16	$(R-G/(2-B)/2)$	-0.849
17	$(G+B)/R$	0.877
18	$R+G+B/G$	-0.743
19	$R+G+B/G-B$	-0.559
20	$R+G-B/G-B$	-0.618
21	$R+G+B/R$	0.877
22	$(G-B)+(R-B)/(G-B)$	0.076
23	$(G-B)+(R-B)/(R-B)$	0.117
24	$(G+B)/(R-B)$	0.760
25	$(G+B)-(R-B)$	0.344
26	$G+B-R$	0.680
27	$((G+B-R)*H)/S$	0.824
28	$((G+B)/(R-B)*H)/S$	0.859
29	$((G-B)/(R-B)*H)/S$	0.943
30	$((G/(R+G+B))*H)/S$	0.920
31	$\text{logsig}((G-(R/3)-(B/3))/255)$	0.408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเมตริกสีคุณภาพของคลอโรฟิลล์บี

ลำดับ	สมการ	คลอโรฟิลล์บี
1	R	-0.769
2	G	-0.457
3	B	-0.537
4	R-B	-0.784
5	$(G+B)/(R+B)$	0.678
6	$(G-B)/(R-B)$	0.814
7	$(R-B)/(R+B)$	-0.648
8	$R/(R+G+B)$	-0.726
9	$G/(R+G+B)$	0.566
10	$B/(R+G+B)$	0.031
11	$(G-B)/(G+B)$	0.213
12	$(G+B)/(G-B)$	-0.279
13	$(R+B)/(G+B)$	-0.624
14	$(R+G)/(R-G)$	-0.296
15	$(R+G-B/2)/(R+G+B/2)$	-0.031
16	$(R-G/(2-B)/2)$	-0.669
17	$(G+B)/R$	0.770
18	$R+G+B/G$	-0.518
19	$R+G+B/G-B$	-0.341
20	$R+G-B/G-B$	-0.395
21	$R+G+B/R$	0.770
22	$(G-B)+(R-B)/(G-B)$	0.004
23	$(G-B)+(R-B)/(R-B)$	0.018
24	$(G+B)/(R-B)$	0.763
25	$(G+B)-(R-B)$	0.235
26	$G+B-R$	0.479
27	$((G+B-R)*H)/S$	0.655
28	$((G+B)/(R-B)*H)/S$	0.869
29	$((G-B)/(R-B)*H)/S$	0.901
30	$((G/(R+G+B))*H)/S$	0.759
31	$\text{Logsig}((G-(R/3)-(B/3))/255)$	0.222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของแคโรทีนอยด์

ลำดับ	สมการ	แคโรทีนอยด์
1	R	-0.987
2	G	-0.189
3	B	-0.724
4	R-B	-0.986
5	$(G+B)/(R+B)$	0.961
6	$(G-B)/(R-B)$	0.981
7	$(R-B)/(R+B)$	-0.672
8	$R/(R+G+B)$	-0.984
9	$G/(R+G+B)$	0.872
10	$B/(R+G+B)$	0.001
11	$(G-B)/(G+B)$	0.435
12	$(G+B)/(G-B)$	-0.491
13	$(R+B)/(G+B)$	-0.925
14	$(R+G)/(R-G)$	-0.470
15	$(R+G-B/2)/(R+G+B/2)$	-0.001
16	$(R-G)/(2-B)/2)$	-0.962
17	$(G+B)/R$	0.986
18	$R+G+B/G$	-0.810
19	$R+G+B/G-B$	-0.572
20	$R+G-B/G-B$	-0.639
21	$R+G+B/R$	0.986
22	$(G-B)+(R-B)/(G-B)$	0.107
23	$(G-B)+(R-B)/(R-B)$	0.153
24	$(G+B)/(R-B)$	0.827
25	$(G+B)-(R-B)$	0.574
26	$G+B-R$	0.852
27	$((G+B-R)*H)/S$	0.947
28	$((G+B)/(R-B)*H)/S$	0.867
29	$((G-B)/(R-B)*H)/S$	0.957
30	$((G/(R+G+B))*H)/S$	0.913
31	$\text{logsig}((G-(R/3)-(B/3))/255)$	0.379

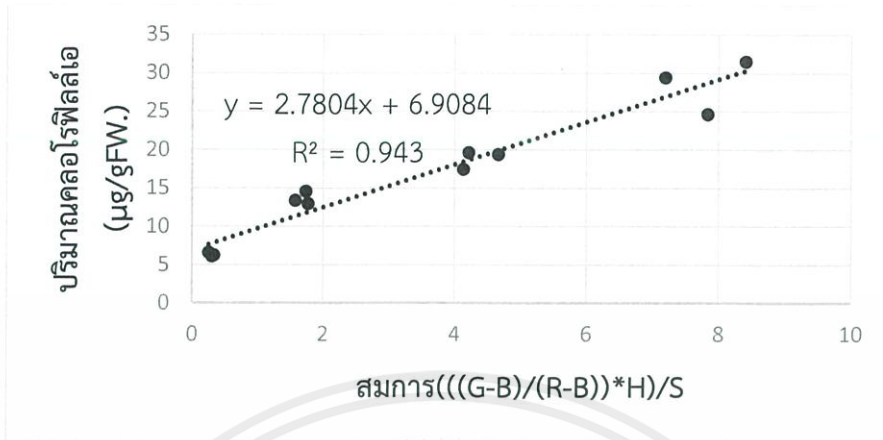
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพของไซยานินดิน

ลำดับ	สมการ	ไซยานินดิน
1	R	0.863
2	G	0.004
3	B	0.963
4	R-B	0.704
5	$(G+B)/(R+B)$	-0.840
6	$(G-B)/(R-B)$	-0.716
7	$(R-B)/(R+B)$	0.225
8	$R/(R+G+B)$	0.784
9	$G/(R+G+B)$	-0.949
10	$B/(R+G+B)$	0.176
11	$(G-B)/(G+B)$	-0.844
12	$(G+B)/(G-B)$	0.869
13	$(R+B)/(G+B)$	0.924
14	$(R+G)/(R-G)$	0.149
15	$(R+G-B/2)/(R+G+B/2)$	-0.176
16	$(R-G)/(2-B)/2)$	0.879
17	$(G+B)/R$	-0.718
18	$R+G+B/G$	0.981
19	$R+G+B/G-B$	0.910
20	$R+G-B/G-B$	0.937
21	$R+G+B/R$	-0.718
22	$(G-B)+(R-B)/(G-B)$	-0.485
23	$(G-B)+(R-B)/(R-B)$	-0.555
24	$(G+B)/(R-B)$	-0.445
25	$(G+B)-(R-B)$	-0.399
26	$G+B-R$	-0.840
27	$((G+B-R)*H)/S$	-0.836
28	$((G+B)/(R-B)*H)/S$	0.514
29	$((G-B)/(R-B)*H)/S$	0.659
30	$((G/(R+G+B))*H)/S$	0.917
31	$\text{logsig}((G-(R/3)-(B/3))/255)$	-0.787

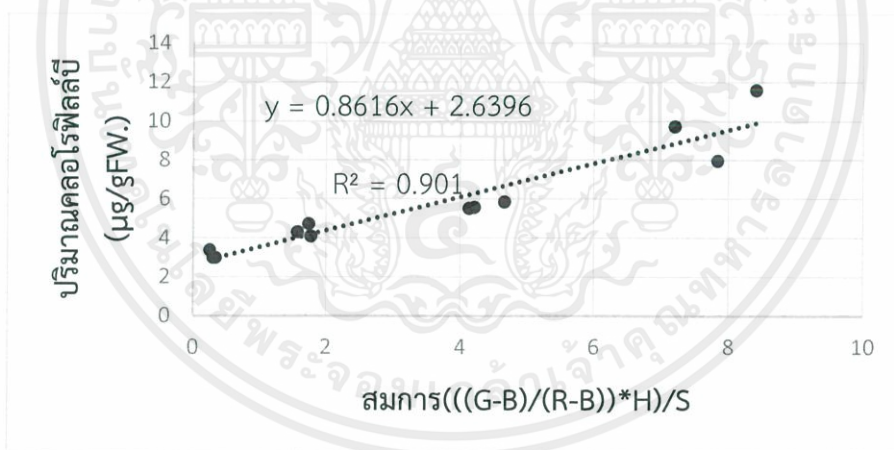
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลแสดงค่า R - Square ของการแปลงระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพตามชนิดต่าง ๆ ข้างต้นสามารถนำมาหาข้อสรุปผลการทดลองและหากราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการที่ดีที่สุดกับปริมาณเม็ดสีชีวภาพตามชนิดต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.5 - 4.9



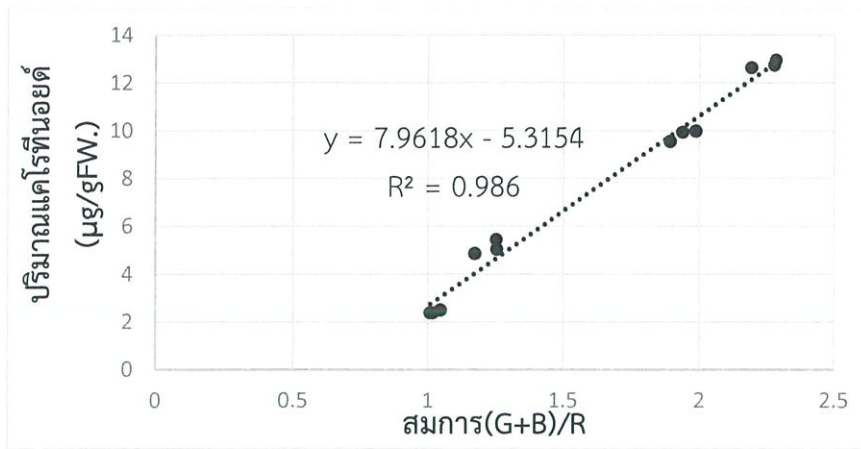
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ  $\frac{((G-B)/(R-B))*H}{S}$  กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

จากตารางที่ 4.4 พบว่า สมการระบบค่าสีลำดับที่ 29 คือ  $\frac{((G-B)/(R-B))*H}{S}$  มีค่า R - Square เข้าใกล้ 1 ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่าเม็ดสีชีวภาพของคลอโรฟิลล์เอ โดยมีค่าเท่ากับ 0.943 สมการดังกล่าว จึงสามารถนำไปใช้สำหรับคาดคะเนปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ

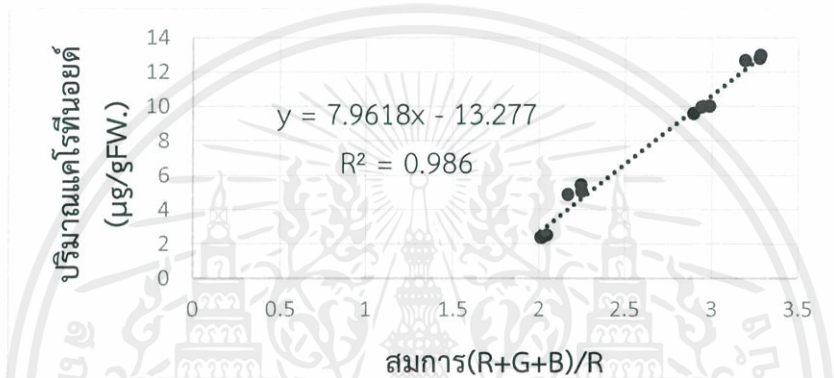


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ  $\frac{((G-B)/(R-B))*H}{S}$  กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี

จากตารางที่ 4.5 พบว่า สมการระบบค่าสีลำดับที่ 29 คือ  $\frac{((G-B)/(R-B))*H}{S}$  มีค่า R - Square เข้าใกล้ 1 ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่าเม็ดสีชีวภาพของคลอโรฟิลล์บี โดยมีค่าเท่ากับ 0.901 สมการดังกล่าว จึงสามารถนำไปใช้สำหรับคาดคะเนปริมาณของคลอโรฟิลล์บี

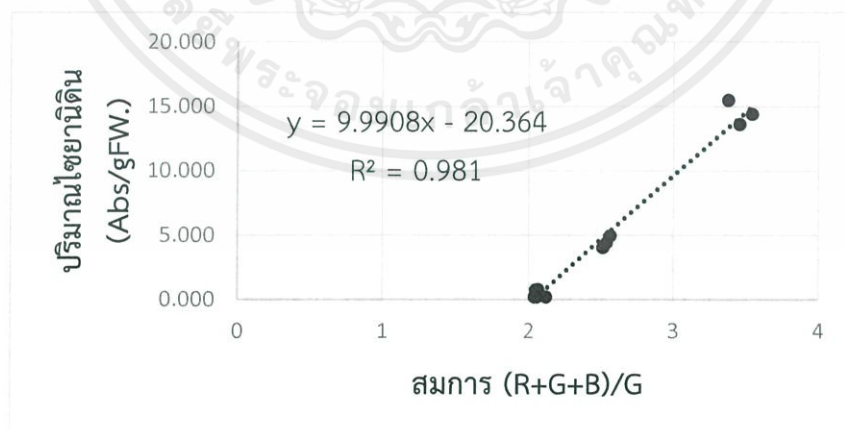


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (G+B)/R กับปริมาณแคโรทีนอยด์



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (R+G+B)/R กับปริมาณแคโรทีนอยด์

จากตารางที่ 4.6 พบว่า สมการระบบค่าสีลำดับที่ 17 คือ (G+B)/R และลำดับที่ 21 คือ (R+G+B)/R มีค่า R - Square เข้าใกล้ 1 ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่าเม็ดสีชีวภาพของแคโรทีนอยด์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.986 สมการดังกล่าว จึงสามารถนำไปใช้สำหรับคาดคะเนปริมาณของแคโรทีนอยด์



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่า R - Square ระบบค่าสีของสมการ (R+G+B)/G กับปริมาณไซยานิน

จากตารางที่ 4.7 พบว่า สมการระบบค่าสีลำดับที่ 18 คือ (R+G+B)/G มีค่า R - Square เข้าใกล้ 1 ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่าเม็ดสีชีวภาพของกลุ่มพลาโวนอยด์ เช่น ไซยานิน มีค่าเท่ากับ 0.981 สมการดังกล่าว จึงสามารถนำไปใช้สำหรับคาดคะเนปริมาณของไซยานินในเนื้อเยื่อพืชต่อไป













เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดสอบการใช้สมการเส้นตรงของระบบค่าสีในกลุ่มต่าง ๆ ตามสีของใบไม้

จากตอนที่ 4.3 นำสมการระบบค่าสีที่มีค่าความสัมพันธ์ R - Square เข้าใกล้ 1 มากที่สุด มาทำการทดสอบการคาดคะเนค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพอย่างคร่าว ๆ โดยนำสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟดังภาพที่ 4.5 - 4.9 มาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสมการระบบค่าสีและปริมาณเม็ดสีชีวภาพ ดังตารางที่ 4.8 - 4.11













ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี  $((G-B)/(R-B))*H/S$  และ สมการเส้นตรง

$$y = 2.7804x + 6.9084 \text{ ของคลอโรฟิลล์เอ}$$

ตัวอย่าง	ข้อมูลภาพ	R	G	B	H	S	L	ค่าที่ได้จากสมการ	ค่าที่ได้จากสมการเส้นตรง
								ระบบค่าสี $((G-B)/(R-B))*H/S$	ของระบบค่าสี
S_DG		35.642	57.122	24.746	0.456	0.161	0.278	8.416	30.308
		36.880	59.295	24.294	0.480	0.164	0.274	8.139	29.539
		35.659	56.087	25.827	0.423	0.161	0.280	8.086	29.391
S_LG		53.202	77.732	29.854	0.493	0.211	0.252	4.791	20.230
		53.660	78.159	31.132	0.473	0.214	0.254	4.614	19.737
		60.462	86.584	31.460	0.478	0.231	0.246	3.933	17.844
S_G-R		94.562	78.948	28.952	0.559	0.242	0.127	1.760	11.802
		86.463	71.049	22.953	0.630	0.215	0.126	2.219	13.078
		92.111	75.600	27.941	0.555	0.235	0.123	1.754	11.785
S_R		126.660	72.607	54.036	0.417	0.354	0.043	0.301	7.746
		122.252	67.587	53.844	0.397	0.345	0.034	0.231	7.551
		119.509	67.098	51.708	0.404	0.336	0.038	0.273	7.667













เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี  $((G-B)/(R-B))*H/S$  และ สมการเส้นตรง  $y = 0.8616x + 2.6396$  ของคลอโรฟิลล์บี

ตัวอย่าง	ข้อมูลภาพ	R	G	B	H	S	L	ค่าที่ได้จากสมการ	ค่าที่ได้จากสมการเส้นตรง
								ระบบค่าสี $((G-B)/(R-B))*H/S$	ของระบบค่าสี
S_DG		35.642	57.122	24.746	0.456	0.161	0.278	8.416	9.891
		36.880	59.295	24.294	0.480	0.164	0.274	8.139	9.652
		35.659	56.087	25.827	0.423	0.161	0.280	8.086	9.607
S_LG		53.202	77.732	29.854	0.493	0.211	0.252	4.791	6.768
		53.660	78.159	31.132	0.473	0.214	0.254	4.614	6.615
		60.462	86.584	31.460	0.478	0.231	0.246	3.933	6.028
S_G-R		94.562	78.948	28.952	0.559	0.242	0.127	1.760	4.156
		86.463	71.049	22.953	0.630	0.215	0.126	2.219	4.552
		92.111	75.600	27.941	0.555	0.235	0.123	1.754	4.151
S_R		126.660	72.607	54.036	0.417	0.354	0.043	0.301	2.899
		122.252	67.587	53.844	0.397	0.345	0.034	0.231	2.839
		119.509	67.098	51.708	0.404	0.336	0.038	0.273	2.875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้













ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (G+B)/R และ (R+G+B)/R และสมการเส้นตรง  
 $y = 7.9618x - 5.3154$  และ  $y = 7.9618x - 13.277$  ของแคโรทีนอยด์

ตัวอย่าง	ข้อมูลภาพ	R	G	B	H	S	L	ค่าที่ได้จากสมการ	ค่าที่ได้จากสมการ	ค่าที่ได้จากสมการเส้นตรง
								ระบบค่าสี(G+B)/R	ระบบค่าสี(R+G+B)/R	ของระบบค่าสี
S_DG		35.642	57.122	24.746	0.456	0.161	0.278	2.297	3.297	12.972
		36.880	59.295	24.294	0.480	0.164	0.274	2.267	3.267	12.730
		35.659	56.087	25.827	0.423	0.161	0.280	2.297	3.297	12.974
S_LG		53.202	77.732	29.854	0.493	0.211	0.252	2.022	3.022	10.785
		53.660	78.159	31.132	0.473	0.214	0.254	2.037	3.037	10.901
		60.462	86.584	31.460	0.478	0.231	0.246	1.952	2.952	10.229
S_G-R		94.562	78.948	28.952	0.559	0.242	0.127	1.141	2.141	3.769
		86.463	71.049	22.953	0.630	0.215	0.126	1.087	2.087	3.341
		92.111	75.600	27.941	0.555	0.235	0.123	1.124	2.124	3.634
S_R		126.660	72.607	54.036	0.417	0.354	0.043	1.000	2.000	2.645
		122.252	67.587	53.844	0.397	0.345	0.034	0.993	1.993	2.593
		119.509	67.098	51.708	0.404	0.336	0.038	0.994	1.994	2.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลสมการที่ได้จากระบบค่าสี (R+G+B)/G และสมการเส้นตรง

$$y = 9.9908x - 20.364 \text{ ของไซยานินดิน}$$

ตัวอย่าง	ข้อมูลภาพ	R	G	B	H	S	L	ค่าที่ได้จากสมการ	ค่าที่ได้จากสมการเส้นตรง
								ระบบค่าสี(R+G+B)/G	ของระบบค่าสี
S_DG		35.642	57.122	24.746	0.456	0.161	0.278	2.057	0.189
		36.880	59.295	24.294	0.480	0.164	0.274	2.032	-0.066
		35.659	56.087	25.827	0.423	0.161	0.280	2.096	0.579
S_LG		53.202	77.732	29.854	0.493	0.211	0.252	2.068	0.302
		53.660	78.159	31.132	0.473	0.214	0.254	2.085	0.465
		60.462	86.584	31.460	0.478	0.231	0.246	2.062	0.234
S_G-R		94.562	78.948	28.952	0.559	0.242	0.127	2.564	5.257
		86.463	71.049	22.953	0.630	0.215	0.126	2.540	5.013
		92.111	75.600	27.941	0.555	0.235	0.123	2.588	5.492
S_R		126.660	72.607	54.036	0.417	0.354	0.043	3.489	14.491
		122.252	67.587	53.844	0.397	0.345	0.034	3.605	15.658
		119.509	67.098	51.708	0.404	0.336	0.038	3.552	15.121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการเส้นตรงที่ได้จากสมการระบบค่าสี RGB และ HSL มาทำการตรวจสอบการคาดคะเนปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างคร่าว ๆ ดังตารางที่ 4.12 ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงและค่าที่ได้จากการสกัดทางเคมีของเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชตามสีของใบไม้

คลอโรฟิลล์เอ				
ตัวอย่าง	S_DG	S_LG	S_G-R	S_R
ค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรง	29.746	19.270	12.222	7.655
ค่าที่ได้จากการสกัด	31.436	19.338	12.903	6.507
ค่าความต่าง(%)	5.376	0.350	5.278	-17.639
คลอโรฟิลล์บี				
ตัวอย่าง	S_DG	S_LG	S_G-R	S_R
ค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรง	9.717	6.470	4.286	2.871
ค่าที่ได้จากการสกัด	11.561	5.815	4.049	3.343
ค่าความต่าง(%)	15.954	-11.270	-5.858	14.122
แคโรทีนอยด์				
ตัวอย่าง	S_DG	S_LG	S_G-R	S_R
ค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรง	12.892	10.638	3.581	2.613
ค่าที่ได้จากการสกัด	12.735	9.963	4.826	2.363
ค่าความต่าง(%)	-1.234	-6.777	25.788	-10.563
ไซยานิดิน				
ตัวอย่าง	S_DG	S_LG	S_G-R	S_R
ค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรง	0.234	0.334	5.254	15.090
ค่าที่ได้จากการสกัด	0.191	0.729	4.388	14.340
ค่าความต่าง(%)	-22.575	54.234	-19.737	-5.228

จากตารางที่ 4.12 พบว่า สามารถบอกค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพโดยการประมาณได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงมีความใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงตามกลุ่มสีของใบไม้ต่าง ๆ ดังตารางข้างต้นที่ได้กล่าวมานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสมการค่าสีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีนอยด์ และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ คือ ไชยานิดิน สำหรับค่าสีที่มีแนวโน้มให้ความสัมพันธ์กับค่าสารสกัดทางเคมีสูง คือ ระบบค่าสี RGB และ HSL ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลโดยใช้ค่าระบบค่าสีดังกล่าว จากนั้นนำค่าสีที่ได้ ค้นหาสมการความสัมพันธ์กับค่าสารสกัดทางเคมี เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างง่ายและทราบปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชอย่างคร่าว ๆ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า

5.1.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีสมการค่าสีที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับเม็ดสีชีวภาพคือ  $((G-B)/(R-B))*H/S$  โดยมีค่า R - Square เท่ากับ 0.943

5.1.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี มีสมการค่าสีที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับเม็ดสีชีวภาพคือ  $((G-B)/(R-B))*H/S$  โดยมีค่า R - Square เท่ากับ 0.901

5.1.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ มีสมการค่าสีที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุดกับเม็ดสีชีวภาพคือ  $(G+B)/R$  และ  $(R+G+B)/R$  โดยมีค่า R - Square เท่ากับ 0.986

5.1.4 ปริมาณไชยานิดิน มีสมการค่าสีที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุดคือ  $(R+G+B)/G$  โดยมีค่า R - Square เท่ากับ 0.981

จากการทดสอบการใช้สมการเส้นตรงของระบบค่าสีของกลุ่มต่าง ๆ ตามกลุ่มสีของใบไม้ พบว่า ค่าการประมาณปริมาณเม็ดสีชีวภาพด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย สามารถบ่งบอกค่าปริมาณได้ มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสกัดทางเคมี สังเกตได้จากตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความต่าง (%) ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากสมการเส้นตรงกับค่าปริมาณเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการสกัดทางเคมี

กลุ่มตามสีของใบไม้	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	แคโรทีนอยด์	ไชยานิดิน
Dark-Green(DG)	5.376 %	15.954 %	-1.234 %	-22.575 %
Light-Green(LG)	0.350 %	-11.270 %	-6.777 %	54.234 %
Green-Red(G-R)	5.278 %	-5.858 %	25.788 %	-19.737 %
Red(R)	-17.639%	14.122 %	-10.563 %	-5.228 %

จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่าระบบค่าสี RGB และ HSL มีผลต่อค่าความสัมพันธ์ระหว่างระบบค่าสีกับค่าสารสกัดทางเคมีตามที่ได้ตั้งสมมติฐานของงานวิจัย มีการนำไปใช้หลากหลายชนิดที่จำแนกกลุ่มสีต่าง ๆ มาทำการวิจัยหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถคำนวณหาปริมาณเม็ดสีชีวภาพต่าง ๆ ให้ผลค่อนข้างตรง เมื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบสมการอื่น ๆ ก่อนหน้านี้

เช่น  $\text{logsig}((G-(R/3)-(B/3))/255)$  สมการของ Ali และคณะ : 2012 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้บ่งบอกถึงค่าความสัมพันธ์กันระหว่างระบบค่าสีกับเม็ดสีชีวภาพที่ได้จากการสกัดทางเคมีและสิ่งสำคัญที่สุด คือ การกำหนดจุด เลือกบริเวณการอ่านค่าของระบบค่าสี RGB และ HSL ในอนาคตสามารถนำไปพัฒนาทางด้านเทคนิคใหม่ ๆ ในการหาปริมาณเม็ดสีชีวภาพในเนื้อเยื่อพืชที่มีความใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริง รวดเร็ว แม่นยำ สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ง่ายและใช้ได้กับทุกสถานการณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- เบญจมา ชุตินทรศาสตร์. 2551. ปฏิบัติการเทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์ (Synthetic Food Ingredients Technology Laboratory) (FY473). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- วิภาพ สุทธรณะ. 2556. “ฤทธิ์ต้านมะเร็งของพลาไวโนอยด์ : กลไกการออกฤทธิ์”. *ศรีนครินทร์เวชสาร*. 28(4) : 567-582.
- เทคโนโลยีชีวภาพ แหล่งรวมความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. 2009-2016. คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คือ อะไร. [Online]. Available : <http://www.thaibiotech.info>.
- ธนสันต์ พิวงค์. 2013-2014. สื่ักงานกราฟฟิก. [Online]. Available : <https://thanasanza74100.wordpress.com/สื่ักงานกราฟฟิก/>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2010-2017. Carotenoid / แคโรทีนอยด์. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1228/carotenoid-แคโรทีนอยด์>
- ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2550. สรีรวิทยาของพืช. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/คลอโรฟิลล์/>.
- โลกไอทีที่ไม่หยุดนิ่ง. 1999-2017. ImageJ (โปรแกรม ImageJ ดูรูป ครอบรูป แต่งรูป ทั่วไปฟรี). [Online]. Available : <https://software.thaiware.com/7658-ImageJ-Download.html>.
- มนตรี กาญจนเดชะ. 2544. แผนการสอนวิชา 240-373 การประมวลผลภาพ (Image Processing). [Online]. Available : <http://fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/image/image.htm>.
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากิจการกระบวนกรเรียนรู้. 2004. เครื่องสแกน(scanner). [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm>.
- Carol, R. 1994. *Experiments in plant physiology*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall
- Harborne, J.B. 1998. *Phytochemical methods : a guide to modern techniques of plant analysis*. London : Chapman & Hall
- Ali, M. Ani, A. Derek, E. and Daniel, T. 2012. “A New Image Processing Based Technique to Determine Chlorophyll in Plants”. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 12(10) : 1323-1328.
- Prajakta, P. and Anup, V. 2014. “Chlorophyll and Nitrogen Estimation Techniques: A Review”. *International Journal of Engineering Research and Reviews*. 2(4) : 33-41.
- David E. 2010. Carotenoid. [Online]. Available : <http://en.citizendium.org/wiki/Carotenoid>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวเข้ม

Replication	R	G	B	H	S	L
DG1	33.951	56.290	24.498	0.452	0.158	0.284
	38.722	59.451	29.790	0.407	0.175	0.284
	38.614	59.268	27.954	0.443	0.171	0.278
	41.616	62.337	29.748	0.428	0.181	0.273
	34.945	55.655	25.762	0.423	0.160	0.282
	36.308	56.909	27.109	0.436	0.165	0.282
	39.147	59.298	29.596	0.409	0.174	0.280
	39.351	58.596	28.578	0.456	0.171	0.274
Avg.	37.832	58.476	27.879	0.432	0.169	0.280
S.D.	2.549	2.150	1.967	0.018	0.008	0.004
DG2	32.607	54.935	21.602	0.497	0.150	0.278
	35.642	57.122	24.746	0.456	0.161	0.278
	36.880	59.295	24.294	0.480	0.164	0.274
	38.788	60.752	25.251	0.473	0.169	0.270
	35.659	56.087	25.827	0.423	0.161	0.280
	34.505	55.217	23.732	0.494	0.155	0.277
	37.579	58.237	26.100	0.444	0.165	0.274
	34.415	53.994	23.940	0.478	0.153	0.276
Avg.	35.759	56.955	24.437	0.468	0.160	0.276
S.D.	1.967	2.336	1.427	0.025	0.007	0.003
DG3	40.148	64.241	22.797	0.506	0.171	0.264
	39.453	62.171	23.820	0.480	0.169	0.266
	40.099	61.369	25.386	0.455	0.170	0.265
	38.337	59.078	24.838	0.463	0.165	0.268
	40.102	61.905	25.684	0.460	0.172	0.267
	39.559	61.097	25.779	0.455	0.170	0.268
	38.623	60.199	25.096	0.476	0.167	0.269
	34.344	55.173	22.081	0.524	0.151	0.272
Avg.	38.833	60.654	24.435	0.477	0.167	0.267
S.D.	1.938	2.677	1.387	0.025	0.007	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวอ่อน

Replication	R	G	B	H	S	L
LG1	65.334	92.704	25.678	0.594	0.232	0.235
	65.409	91.674	27.861	0.567	0.234	0.235
	49.082	71.767	26.905	0.461	0.193	0.251
	55.113	76.214	35.796	0.371	0.220	0.254
	57.013	80.577	33.715	0.426	0.224	0.251
	56.732	81.036	30.561	0.488	0.219	0.247
	53.756	78.409	26.661	0.531	0.206	0.246
	56.986	81.001	30.946	0.488	0.220	0.247
Avg.	57.428	81.673	29.765	0.491	0.219	0.246
S.D.	5.549	7.195	3.628	0.073	0.013	0.007
LG2	53.202	77.732	29.854	0.493	0.211	0.252
	53.660	78.159	31.132	0.473	0.214	0.254
	60.462	86.584	31.460	0.478	0.231	0.246
	57.722	83.066	30.464	0.514	0.223	0.247
	55.009	81.802	26.327	0.555	0.212	0.248
	48.379	72.462	23.402	0.561	0.188	0.249
	47.494	71.423	24.617	0.521	0.188	0.252
	62.354	87.776	34.942	0.449	0.241	0.247
Avg.	54.785	79.876	29.025	0.506	0.214	0.249
S.D.	5.294	6.039	3.900	0.040	0.019	0.003
LG3	56.248	80.951	29.582	0.475	0.217	0.247
	56.326	79.763	29.811	0.482	0.215	0.245
	63.301	88.580	29.066	0.529	0.231	0.238
	65.754	89.278	30.425	0.501	0.235	0.233
	56.688	82.291	23.801	0.577	0.208	0.240
	59.440	84.709	27.436	0.527	0.220	0.240
	61.732	85.901	28.373	0.533	0.224	0.237
	55.079	77.178	31.975	0.441	0.214	0.248
Avg.	59.321	83.581	28.809	0.508	0.221	0.241
S.D.	3.899	4.280	2.434	0.042	0.009	0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีเขียวปนสีแดง

Replication	R	G	B	H	S	L
G-R1	89.395	77.092	23.688	0.598	0.222	0.136
	99.347	86.891	39.976	0.437	0.273	0.131
	93.848	79.928	29.962	0.542	0.243	0.130
	94.562	78.948	28.952	0.559	0.242	0.127
	86.463	71.049	22.953	0.630	0.215	0.126
	92.111	75.600	27.941	0.555	0.235	0.123
	93.683	81.924	34.768	0.467	0.252	0.133
	88.165	78.005	27.753	0.532	0.227	0.139
Avg.	92.197	78.680	29.499	0.540	0.239	0.131
S.D.	4.117	4.633	5.608	0.063	0.018	0.005
G-R2	92.278	82.677	36.801	0.444	0.253	0.138
	91.442	80.529	39.652	0.423	0.257	0.131
	89.532	76.341	28.834	0.533	0.232	0.130
	91.194	86.676	40.090	0.409	0.258	0.152
	93.442	78.463	36.425	0.466	0.255	0.122
	90.867	77.346	30.298	0.572	0.238	0.129
	88.108	77.658	31.339	0.531	0.234	0.136
	91.601	77.871	31.862	0.514	0.242	0.128
Avg.	91.058	79.695	34.413	0.487	0.246	0.133
S.D.	1.634	3.466	4.366	0.059	0.011	0.009
G-R3	93.405	80.839	34.308	0.476	0.250	0.131
	89.245	82.109	29.488	0.539	0.233	0.147
	89.011	75.296	29.268	0.538	0.232	0.128
	96.578	82.799	40.634	0.423	0.269	0.125
	91.502	81.931	32.771	0.495	0.244	0.139
	90.120	80.616	30.802	0.576	0.237	0.139
	91.106	84.368	35.072	0.486	0.247	0.147
	91.207	85.928	29.926	0.554	0.238	0.152
Avg.	91.522	81.736	32.784	0.511	0.244	0.139
S.D.	2.474	3.147	3.864	0.050	0.012	0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบค่าสี RGB และ HSL ของกลุ่มสีแดง

Replication	R	G	B	H	S	L
R1	123.619	69.726	56.042	0.383	0.352	0.034
	123.518	71.742	59.059	0.366	0.358	0.033
	122.016	68.805	52.784	0.399	0.343	0.039
	120.022	68.917	52.853	0.394	0.339	0.040
	126.660	72.607	54.036	0.417	0.354	0.043
	122.252	67.587	53.844	0.397	0.345	0.034
	119.509	67.098	51.708	0.404	0.336	0.038
	119.409	68.963	52.329	0.395	0.337	0.041
Avg.	122.126	69.431	54.082	0.394	0.346	0.037
S.D.	2.490	1.899	2.408	0.015	0.008	0.004
R2	119.993	70.432	51.400	0.405	0.336	0.046
	118.345	69.516	50.101	0.422	0.330	0.047
	119.644	74.738	53.126	0.388	0.339	0.054
	119.178	74.454	53.102	0.387	0.338	0.054
	117.796	71.459	52.584	0.391	0.334	0.048
	121.721	73.969	55.121	0.380	0.347	0.047
	123.614	75.838	56.367	0.377	0.353	0.048
	121.239	73.202	53.114	0.394	0.342	0.049
Avg.	120.191	72.951	53.114	0.393	0.340	0.049
S.D.	1.915	2.244	1.961	0.015	0.007	0.003
R3	126.342	71.589	53.479	0.408	0.353	0.041
	119.603	66.469	48.762	0.425	0.330	0.042
	124.115	69.991	53.112	0.410	0.348	0.040
	121.099	68.335	50.863	0.422	0.337	0.041
	123.873	69.455	52.473	0.416	0.346	0.040
	124.333	77.096	55.042	0.392	0.352	0.053
	125.821	81.665	60.311	0.357	0.365	0.054
	123.061	73.301	55.808	0.384	0.351	0.043
Avg.	123.531	72.238	53.731	0.402	0.348	0.044
S.D.	2.262	5.005	3.470	0.023	0.011	0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระบบค่าสีและค่าที่ได้  
จากการสกัดเม็ดสีชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(((G-B)/(R-B))\*H)/S กับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

สมการ(((G-B)/(R-B))*H)/S	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ( $\mu\text{g/gFW.}$ )
7.837	24.590
8.416	31.436
7.196	29.321
4.214	19.561
4.674	19.338
4.137	17.344
1.775	12.903
1.580	13.314
1.747	14.529
0.257	6.507
0.342	6.167
0.306	6.002

ตารางที่ ข.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(((G-B)/(R-B))\*H)/S กับปริมาณคลอโรฟิลล์บี

สมการ(((G-B)/(R-B))*H)/S	ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ( $\mu\text{g/gFW.}$ )
7.837	7.922
8.416	11.561
7.196	9.696
4.214	5.546
4.674	5.815
4.137	5.485
1.775	4.049
1.580	4.279
1.747	4.686
0.257	3.343
0.342	2.952
0.306	2.944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(G+B)/Rกับปริมาณ  
แคโรทีนอยด์

สมการ(G+B)/R	ปริมาณแคโรทีนอยด์( $\mu\text{g/gFW.}$ )
2.283	12.921
2.276	12.735
2.191	12.617
1.940	9.919
1.988	9.963
1.895	9.541
1.173	4.826
1.253	5.012
1.251	5.409
1.011	2.363
1.049	2.465
1.020	2.348

ตารางที่ ข.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(R+G+B)/Rกับปริมาณ  
แคโรทีนอยด์

สมการ(R+G+B)/R	ปริมาณแคโรทีนอยด์( $\mu\text{g/gFW.}$ )
3.283	12.921
3.276	12.735
3.191	12.617
2.940	9.919
2.988	9.963
2.895	9.541
2.173	4.826
2.253	5.012
2.251	5.409
2.011	2.363
2.049	2.465
2.020	2.348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบสมการ(R+G+B)/Gกับปริมาณ  
ไซยานิดิน

สมการ (R+G+B)/G	ปริมาณไซยานิดิน (Abs/gFW.)
2.124	0.180
2.057	0.191
2.043	0.181
2.068	0.764
2.049	0.729
2.054	0.673
2.547	4.388
2.574	4.933
2.521	4.020
3.538	14.340
3.376	15.428
3.454	13.574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสรญา มุรธัสศรี ชื่อภาษาอังกฤษ Soraya Munrassri เกิดวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2538 จบการศึกษาในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนตากสินราชานุสรณ์ จังหวัด ตาก จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และ มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนตากพิทยาคม จังหวัด ตาก ในปีการศึกษา 2556 ได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้