

การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียม

ENHANCEMENT OF ANTIOXIDANT CONTENTS IN TOMATOES  
USING LIGHT EMITTING DIODE (LED)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ENHANCEMENT OF ANTIOXIDANT CONTENTS IN TOMATOES  
USING LIGHT EMITTING DIODE (LED)



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียม

ENHANCEMENT OF ANTIOXIDANT CONTENTS IN TOMATOES USING LIGHT  
EMITTING DIODE (LED)

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพิมพ์พิศา ขยันกิจ 60010723
2. นางสาวอาทิตยา จันทวิมล 60011185



(ดร.พิมพ์ขวัญ หายนันทอนันต์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการ</b>	การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียม
<b>จัดทำโดย</b>	นางสาวพิมพ์พิศา ขยันกิจ 60010723 นางสาวอาทิตยา จันทวิมล 60011185
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ดร.พิมพ์ขวัญ หาญนนทอนันต์
<b>ปริญญาานิพนธ์</b>	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
<b>ปีการศึกษา</b>	2563

### บทคัดย่อ

มะเขือเทศเป็นผักที่ในปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมมาก ในมะเขือเทศมีสารไลโคปีนและสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างมาก ความจำเป็นดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดในการเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับมะเขือเทศ โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศพันธุ์สีดำด้วยแสงไฟแอลอีดี (LED) โดยมีสมมติฐานว่า แสงไฟแอลอีดีที่เป็นสีจะช่วยเพิ่มปริมาณไลโคปีน และแอนโทไซยานินได้ ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในมะเขือเทศ การศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาอิทธิพลของช่วงระยะเวลาในการให้แสงกับมะเขือเทศสายพันธุ์สีดำ และแสงไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนและแอนโทไซยานินในมะเขือเทศ โดยการนำมะเขือเทศที่มีสีแดงร้อยละ 90 ของพื้นที่ทั้งหมดซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความสุข ให้ช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ 8 12 และ 16 ชั่วโมง และวางใต้แสงไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกัน ได้แก่ ไฟแอลอีดีสีขาว ไฟแอลอีดีสีแดง ไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน และไม่มีไฟแอลอีดี พบว่าการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศสายพันธุ์สีดำ คือช่วงระยะเวลา 16 ชั่วโมง มีปริมาณสารไลโคปีนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.013 mg/g ส่วนปริมาณสารแอนโทไซยานินในสภาวะที่ไม่มีแสงช่วง 16 ชั่วโมง มีการเพิ่มขึ้นของสารแอนโทไซยานินอยู่มาก ส่วนในสภาวะที่ให้แสงสีมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 12 ชั่วโมง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นน้อยกว่าสภาวะที่ไม่มีแสงถึง 3.8 เท่า ดังนั้นการให้แสงสีนั้นจึงมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารแอนโทไซยานิน และการศึกษาผลของแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ คือการให้แสงไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน มีปริมาณสารไลโคปีนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.019 mg/g แสดงให้เห็นว่าแสงจากไดโอดสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดำได้ และสามารถนำมาปรับใช้ในระบบการผลิตพืชในอาคาร หรือพื้นที่ที่ไม่มีแสงจากธรรมชาติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Enhancement of antioxidant contents in tomatoes using Light Emitting Diode (LED)
<b>Students</b>	Ms. PIMPISA KAYANKIT 60010723 Ms. ATITAYA CHANTAWIMON 60011185
<b>Advisor</b>	Dr. Pimkhuan Hannanta-anan
<b>Thesis for</b>	Bachelor's Degree of Food Engineering Department of Food Engineering Faculty of Food Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2020

### Abstract

This research aims to study how to increase the nutritional value of Seeda tomatoes with LED lighting. We hypothesized that colored LED can increase certain antioxidant contents such as lycopene and anthocyanin in Seeda tomatoes. This study seeks to investigate the influence of the illumination duration and the light wavelength on such antioxidant contents in the Seeda tomatoes. Seeda tomatoes of consistent ripeness were selected by a color analysis ensuring 90% red coverage of the total fruit surface area. The chosen tomatoes were first exposed to varying blue illumination durations of 8, 12, and 16 hours. We observed the highest increase in the lycopene content at 16 hours; the average lycopene level in the illuminated tomatoes was higher than those in the dark by 0.013 mg/g. The duration has no significant effect on the anthocyanin content. Once found the optimal exposure duration, tomatoes were placed under different colors of LED light including white, red, and blue. Under the blue LED, tomatoes were found to have the largest increase in lycopene which is 0.019 mg/g from the dark control. This study shows that LED illumination can improve the nutritional value of Seeda tomatoes, and can potentially be adapted for uses in plant production systems in buildings or areas without natural light.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์ พร้อมทั้งการดูแลเอาใจใส่จาก ดร.พิมพ์ขวัญ หาญนันทอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ทักษะ และประสบการณ์อันมีค่าทางวิชาการตลอดมา พร้อมทั้งช่วยแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนงานวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งความห่วงใยและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์, คุณอำนาจ คูตะคุ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัย และข้อมูลด้านเอกสารทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนและพี่น้องนักศึกษาทุกคนที่เป็นกำลังใจ คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนต่าง ๆ แก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนด้านการเรียน คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจ ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านการศึกษา

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 มะเขือเทศ	5
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของมะเขือเทศ	5
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	6
2.1.3 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ	7
2.1.4 ระดับความสุกของมะเขือเทศ	7
2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ	8
2.2.1 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)	8
2.2.1.1 ไลโคปีน (Lycopene)	9
2.2.1.2 เบต้าแคโรทีน (Beta Carotene)	10
2.2.1.3 ลูทีน (Lutein)	10
2.2.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)	11
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน	12
2.3 การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Photo Synthesis)	13
2.3.1 การดูดกลืนแสงของรงควัตถุ (Light absorption)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 กลไกในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	16
2.3.2.1 ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง	16
2.3.3 ปฏิกริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> fixation Reaction)	18
2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วัสดุและวิธีการ	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ	21
3.1.1 วัสดุ	21
3.1.2 อุปกรณ์	21
3.1.3 เครื่องมือ	22
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.2.1 วิธีการทำกล่องควบคุม	23
3.2.2 สอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	24
3.2.3 การหาความเข้มแสงในแต่ละแสงสี	24
3.2.4 ตรวจสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมขณะตัวควบคุมทำงาน	25
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	25
3.3.1 การทำกล่องถ่ายรูป	25
3.3.2 วิธีวัดระดับความสูงด้วยพื้นที่สีแดง	25
3.3.3 วิธีวัดระดับความสูงด้วย HSV	25
3.4 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ	26
3.4.1 การวิเคราะห์สารไลโคปีน	26
3.4.2 การวิเคราะห์แอนโทไซยานิน	26
3.5 การหาช่วงเวลาที่เหมาะสม	27
3.6 การหาแสงสีที่เหมาะสม	27
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์การทดลอง	28
4.1 กล่องควบคุม	28
4.1.1 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลการหาความเข้มแสงในแต่ละแสงสี	29
4.1.3 ผลการตรวจสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมขณะทำงาน	30
4.2 ผลการวัดและควบคุมระดับความสุขของมะเขือเทศ	31
4.2.1 การเปรียบเทียบสีของมะเขือเทศกับระยะเวลาที่เปลี่ยนไปด้วยการสังเกต	31
4.2.2 ผลของการวัดระดับความสุขของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธีการหาพื้นที่สีแดง	32
4.2.3 ผลของการวัดระดับความสุขของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธี HSV	32
4.2.4 การเลือกวิธีการวัดความสุขมาใช้ในการทดลอง	33
4.3 ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นของมะเขือเทศสีดำเปรียบเทียบกับมะเขือเทศราชินี	34
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้น	34
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น	34
4.4 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศ	35
4.4.1 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารไลโคปีน	35
4.4.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารแอนโทไซยานิน	36
4.5 ผลการศึกษาแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ	37
4.5.1 ผลการศึกษาแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770	43
ก.2 แสดงการสอบเทียบความชื้นของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770	46
ข.1 แสดงค่าพื้นที่สีแดงจำนวน 7 วัน	49
ข.2 แสดงค่าเฉลี่ยพื้นที่สีแดงจำนวน 7 วัน	50
ข.3 แสดงค่าเฉลี่ย Hue	52
ค.1 แสดงค่าการวัดปริมาณสารไลโคปีนเริ่มต้นระหว่าง 2 สายพันธุ์	54
ค.2 แสดงค่าการวัดปริมาณสารแอนโทไซยานินเริ่มต้นระหว่าง 2 สายพันธุ์	55
ง.1 แสดงปริมาณสารไลโคปีนในแต่ละช่วงเวลา	56
ง.2 แสดงปริมาณสารแอนโทไซยานินในแต่ละช่วงเวลา	56
ง.3 แสดงปริมาณสารไลโคปีนในแต่ละแสงสี	57

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มะเขือเทศ	5
2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน	9
2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีเบต้าแคโรทีน	10
2.4 โครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วงน้ำเงิน	11
2.5 แถบแสดงความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงของโมเลกุลรงควัตถุชนิดต่าง ๆ	15
2.6 โครงสร้างคลอโรพลาสต์	16
2.7 ปฏิกิริยาการแยกสลายโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานแสง	17
2.8 ขั้นตอนของ Calvin Cycle	19
3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองโดยรวม	23
4.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง (STC-3028) และ (Digitcon HT-770)	28
4.2 แสดงการสอบเทียบความชื้นของเครื่อง (STC-3028) และ (Digitcon HT-770)	29
4.3 แสดงการตรวจสอบการควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง (STC-3028) ขณะที่เครื่องทำงาน	30
4.4 แสดงการตรวจสอบการควบคุมความชื้นของเครื่อง (STC-3028) ขณะที่เครื่องทำงาน	30
4.5 การเปรียบเทียบสีแดงของมะเขือเทศ 5 ลูก ทั้งหมด 7 วัน	31
4.6 แสดงการวัดระดับความสุกของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธีการหาพื้นที่สีแดง	32
4.7 แสดงการวัดระดับความสุกของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธี HSV	33
4.8 แสดงปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดากับราชินีจำนวนสายพันธุ์ละ 10 ลูก	34
4.9 แสดงปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดากับราชินีจำนวนสายพันธุ์ละ 10 ลูก	35
4.10 กราฟแสดงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารไลโคปีน	36
4.11 กราฟแสดงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารแอนโทไซยานิน	37
4.12 แสดงการศึกษาผลของแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1 แสดงกล่องถ่ายรูป	47
ข.2 ตัดมะเขือเทศในโปรแกรม ImageJ	47
ข.3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดพื้นที่สีแดงในโปรแกรม ImageJ	48
ข.4 หน้าต่าง Threshold Color ในโปรแกรม ImageJ	48
ข.5 แสดงลูกที่ผ่านการคัดเลือก	50
ข.6 การเปลี่ยนให้อยู่ใน HSB	51
ข.7 วัดค่าพื้นที่ที่อยู่ในหน้าต่าง Hue	51
ข.8 แสดงลูกที่ผ่านการคัดเลือก	53



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) อยู่ในวงศ์ Solanaceae และผลอยู่ในกลุ่ม Solanaceous ในมะเขือเทศมีกรดอินทรีย์ น้ำตาล วิตามิน A, B, C และสารสำคัญในกลุ่มแคโรทีนอยด์อยู่มาก (กฤติยาม, 2558) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีส้มแดง 2 ชนิด คือ บีต้า-แคโรทีน (Beta-carotene) และไลโคปีน (Lycopene) ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ (กานดาวดี โนชัยและจิรภา พงษ์จันทา, 2556) ทำให้มะเขือเทศมีความโดดเด่นเหนือพืชผักอื่น ๆ

ไลโคปีนในผลมะเขือเทศพบมากกว่าร้อยละ 85 ของรงควัตถุทั้งหมด (Riadh et al., 2011) ไลโคปีนเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล จัดอยู่ในกลุ่มย่อยของแคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยไอโซพรีน ซึ่งเป็นไดเอิน (diene)  $[CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2]$  มาเรียงต่อกัน 8 หน่วย มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_{40}H_{56}$  ไลโคปีนในผลมะเขือเทศเป็นที่สนใจอย่างมากกับผู้รักสุขภาพ เพราะมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพและ ป้องกันการก่อตัวของเซลล์มะเร็งในต่อมลูกหมาก ปอด และกระเพาะอาหาร (Stahl, W., and Sies, H., 1996) ไลโคปีนในมะเขือเทศทั้งผลส่วนใหญ่พบในระดับร้อยละ 48 (Inmaculada et al., 2011) โดยภายในบรรจุโครโมพลาสต์ที่มีรงควัตถุที่ประกอบด้วยไลโคปีนและแคโรทีน (Manashi, D. P., and Charu L. M., 2011) แอนโทไซยานินเป็นสารเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) อีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่น่าสนใจและมีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นอย่างมากซึ่งพบมากในมะเขือม่วงที่เป็นพืชวงศ์ (SOLANACEAE) เป็นตระกูลเดียวกับมะเขือเทศ ทำให้ในมะเขือเทศนั้นอาจจะมีแอนโทไซยานินอยู่ด้วย

มะเขือเทศมีหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์เซอร์รี่หรือราชินี พันธุ์โรมาเรตเพียร์ พันธุ์ท้อ และพันธุ์สีดา เป็นต้น โดยมีงานวิจัยบ่งชี้ให้เห็นว่ามะเขือเทศแต่ละสายพันธุ์มีคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอย่างไลโคปีนในสายพันธุ์เซอร์รี่หรือราชินี และสายพันธุ์โรมาเรตเพียร์ เป็นสายพันธุ์ที่ส่วนมากปลูกได้ดีในต่างประเทศ (จิรภา, 2556) และมีราคาสูง (ตลาดไท, 2564) ในขณะที่สายพันธุ์สีดาเป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้ตามธรรมชาติในประเทศไทย (จิรภา, 2556) แต่มีราคาค่อนข้างต่ำ (ตลาดไท, 2564) เนื่องจากมีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากในแถบภาคอีสาน เช่น บึงกาฬ สกลนคร หนองคาย ฯลฯ โดยเฉพาะพื้นที่ริมแม่น้ำโขง ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการปลูกมะเขือเทศ (เดลินิวส์, 2564) ทำให้มีมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาจำนวนมากในประเทศไทย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับพันธุ์สีดาให้ใกล้เคียงกับมะเขือเทศสายพันธุ์อื่น ๆ

ในปัจจุบันมีการบริโภคผักและผลไม้ในปริมาณน้อยอีกทั้งเน้นที่การคำนวณแคลอรีมากกว่าคุณค่าทางโภชนาการในผักและผลไม้ซึ่งมีประโยชน์ เช่น ในมะเขือเทศมีไลโคปีนเป็นสารที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีประโยชน์ในหลายด้านดังนี้ ช่วยในการลดการแก่ชรา ช่วยลดความเสี่ยงของมะเร็งทุกชนิด ช่วยบรรเทาโรคอัลไซเมอร์ได้ ช่วยป้องกันโรคปอดเรื้อรัง หลอดลมอักเสบ ถุงลมโป่งพอง อีกทั้งยังช่วยในด้านสุขภาพและบำรุงผิวพรรณได้ด้วย และแอนโทไซยานินที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการจัดเป็น functional food เพราะสารนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง (Lazze et al., 2004) และสามารถใช้เป็นสารให้สี (coloring agent) ธรรมชาติในอาหาร เช่น ใช้สีจากดอกอัญชันทำขนมไทยหลายชนิด ในงานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาที่มีน้อยกว่าในสายพันธุ์ราชินี จึงอยากศึกษาเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาให้มากขึ้นจากเดิม ทั้งนี้ราคาของมะเขือเทศราชินีก็ยังคงสูงเป็น 2 เท่าของมะเขือเทศสีดา (ตลาดไท, 2564) ซึ่งในงานวิจัยนี้คาดว่าเมื่อศึกษาทดลองแล้วจะสามารถเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระให้กับมะเขือเทศสีดาที่มีราคาถูกว่ามะเขือเทศราชินี แต่สามารถให้คุณค่าทางโภชนาการได้ใกล้เคียงกับมะเขือเทศราชินีได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโตในพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย (วิจิตร และคณะ, 2562) พบว่าแสงแอลอีดีสามารถกระตุ้นการเพิ่มปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระได้ในพืชโหระพา กะเพรา และแมงลัก รวมทั้งงานวิจัยให้แสงเทียมกับต้นมะเขือเทศสายพันธุ์ราชินี โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยที่เคยมีมา ว่าการใช้แสงเทียมนี้จะสามารถเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระได้หรือไม่ และหากไม่ได้ให้แสงเทียมในขณะที่ปลูกทั้งต้น แต่ให้แสงเทียมกับผลหลังเก็บเกี่ยว และจะสามารถทำได้กับมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาหรือไม่ ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ คาดว่าจะทำให้ผู้บริโภคเห็นถึงความสำคัญของคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ อีกทั้งยังสามารถหาวิธีการดัดแปลงพันธุ์ที่มีประโยชน์ในมะเขือเทศออกมาให้ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อต้องการเปรียบเทียบปริมาณสารไลโคปีนและสารแอนโทไซยานินระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาและมะเขือเทศที่มีราคาสูงอย่างสายพันธุ์ราชินี

1.2.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการให้แสงกับมะเขือเทศ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัยโครงการ

1.3.1 ตัวแปรต้น

- ระยะเวลาที่ใช้ในการให้แสงกับมะเขือเทศ
- แสงไฟ LED สีขาว
- แสงไฟ LED สีแดง
- แสงไฟ LED สีน้ำเงิน
- ไม่มีไฟ

1.3.2 ตัวแปรตาม

- ปริมาณของไลโคปีนที่ได้จากการให้แสงกับมะเขือเทศ
- ปริมาณของแอนโทไซยานินที่ได้จากการให้แสงกับมะเขือเทศ

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

- สายพันธุ์มะเขือเทศ คือ พันธุ์สีดาและพันธุ์ราชินี
- ค่าความสว่างของแสง
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง
- ระดับความสุกของมะเขือเทศ
- ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลเปรียบเทียบของปริมาณไลโคปีนและแอนโทไซยานินระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาและราชินี

1.4.2 ทราบผลของแสงจากหลอดแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ

1.4.3 ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการให้แสงกับมะเขือเทศ



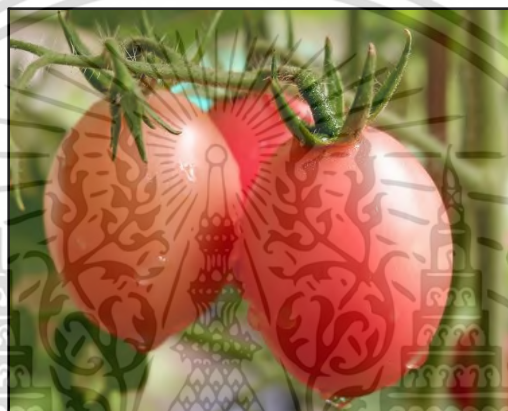
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 มะเขือเทศ

#### 2.1.1 ลักษณะทั่วไปของมะเขือเทศ



รูปที่ 2.1 มะเขือเทศ

ที่มา : <https://th.eastwestseed.com>

มะเขือเทศอยู่ในตระกูล Solanaceae และผลอยู่ในกลุ่ม Solanaceous มีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง เพราะมีกรดที่มีรสหวานและรสชาติพิเศษ จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูง ผลมีน้ำประมาณร้อยละ 90 โดยมีทั้งวิตามินเอและซี ซึ่งวิตามินทั้งสองนี้จะมีเพิ่มขึ้นในผลที่สุกแก่และมีการพัฒนาของสีในขณะที่อยู่บนต้น โดยจะมีวิตามินซีมากถ้ามีช่วงแสงต่ำลง เนื้อผลประกอบด้วยน้ำตาลและกรดน้ำตาล ได้แก่ ฟรุคโตส และกลูโคส (นรินทร์, 2541)

มะเขือเทศสามารถผลิตเป็นผลสดส่งตลาดและแปรรูปเช่น มะเขือเทศกระป๋อง (canned tomato) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce) มะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) มะเขือเทศผง (tomato powder) มะเขือเทศดอง (tomato pickle) เป็นต้น (George, 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก (root) เป็นระบบรากแก้ว (tap root system) เจริญเติบโตได้รวดเร็วและแข็งแรงสามารถสร้างรากแขนง และรากฝอยเป็นจำนวนมากในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิต่ำ ดินมะเขือเทศจะสร้างรากพิเศษบนลำต้นได้ซึ่งเป็นประโยชน์ในการดูดธาตุอาหาร

ลำต้น (stem) ในลำต้นอ่อนจะมีขนปกคลุม เมื่อลำต้นแก่จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม ในระยะแรกของการเจริญเติบโตลำต้นของมะเขือเทศจะตั้งตรง เมื่อกิ่งก้านยาว 30-60 ซม. จะทอดยอดไปตามแนวราบ และสามารถเจริญเติบโตได้ตลอดเวลาที่สภาพแวดล้อมเหมาะสม

ใบ (leaf) เป็นใบประกอบออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากัน บางใบเล็กเรียวยาว บางใบกลมใหญ่ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อย ยาวประมาณ 5-7 เซนติเมตร มีสีเขียวปนเทา มีต่อมสารระเหยที่บริเวณขนเมื่อถูกรบกวนจะปลดปล่อยสารมีกลิ่นออกมา

ดอก (flower) เป็นดอกสมบูรณ์หรือดอกสมบูรณ์เพศ (complete or perfect flower) มีเกสรเพศผู้ (stamen) รวมกันเป็นหลอด (tube) ครอบเกสรเพศเมีย (pistil) เป็นพืชผสมตัวเอง (self-pollination) ประมาณ 98% การผสมเกสรของมะเขือเทศต้องการอากาศเย็น โดยเฉพาะอุณหภูมิตอนกลางคืน ไม่ควรสูงกว่า 21 องศาเซลเซียส ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยวบริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ

ผล (fruit) ผลเป็นผลเดี่ยว ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรีภายในผลประกอบด้วยรังไข่ที่เชื่อมกัน แบ่งเป็นช่อง (locule) หรือห้อง (chamber) ออกเป็น 2-25 ช่อง ส่วนใหญ่มีประมาณ 2-10 ช่อง ผลดิบมีสีเขียวหรือเขียวอมเทาเมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง ผลส่วนที่ใช้เป็นอาหารประกอบด้วย pericarp, placenta tissue และเมล็ดสีแดงของผลมะเขือเทศเกิดจากมีไลโคปีนซึ่งเป็น pigment ที่ทำให้เกิดสีแดง เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำมีรสเปรี้ยว ส่วนเนื้อของผลประกอบด้วยสารต่าง ๆ ทั้ง insoluble solid และ soluble solid หากมีสารเหล่านี้มากทำให้เนื้อผลหนา protopectin ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่เรียกว่า lamella มีความสัมพันธ์โดยตรงกับเนื้อของผลและความแน่นของผล

เมล็ด (seed) มีลักษณะรูปไข่ แบน และมีขนาดเล็กสีน้ำตาลอ่อนปกคลุมอยู่ความยาวของเมล็ด มีขนาดตั้งแต่ 1.5-4 มม. จำนวนเมล็ดต่อผลประมาณ 150-300 เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วยต้นอ่อน ขดกลม (coiled embryo) เป็นวงแหวนล้อมรอบด้วยอาหารสำหรับใช้เลี้ยงต้นอ่อนขนาดเล็ก

### 2.1.3 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

#### ก. ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสง (light duration)

ช่วงระยะเวลาที่ได้รับแสงมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างอาหารในพืช ช่วงระยะเวลาแสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศอยู่ระหว่าง 8-16 ชั่วโมงต่อวัน

#### ข. อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิมีบทบาทต่อพืชทุกระบวนการ ทั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การคายน้ำ และการพัฒนาอวัยวะต่าง ๆ ของพืช (Lieth et al., 1991) เพราะพืชมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในต้นตามอุณหภูมิภายในรอบวัน (Erwin, 1991) มะเขือเทศเป็นพืชที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิ ดังนั้นการปลูกมะเขือเทศในอุณหภูมิที่ต่างกันจะทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพแตกต่างกันไป โดยผลผลิตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Went, 1944) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศ คือ 20-25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้เมล็ดงอกช้า แต่ถ้าอุณหภูมิที่สูงเมล็ดจะงอกเร็วแต่ต้นกล้าไม่สมบูรณ์ ส่วนในระยะเจริญเติบโตมะเขือเทศต้องการอุณหภูมิประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส

#### ค. ปริมาณของแสง (light quantity)

ปริมาณของแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยแสงทำหน้าที่สร้างอาหารจากการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช ปริมาณของแสงมีผลต่อการดำรงชีวิตของพืช เมื่อปริมาณของแสงเพิ่มขึ้น พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวที่จุดนี้แม้จะเพิ่มปริมาณของแสงขึ้นอีก ก็ไม่ทำให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น และถ้าปริมาณของแสงสูงเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพืชได้

### 2.1.4 ระดับความสุกของมะเขือเทศ

การสุกแก่ของผลขึ้นอยู่กับพันธุ์ ส่วนใหญ่ผลสุกแก่ในช่วง 35-60 วันหลังดอกบาน ซึ่งอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการสุกแก่ของผล โดยให้จำนวนวันการเจริญเติบโตเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวและปรับปรุงสภาพ ระยะการสุกแก่ของผลและการพัฒนาของสีผลสำหรับผลที่มีการสุกแก่สีแดงพิจารณาจากวันที่มีการสุกแก่สีเขียวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังนี้

1. ระยะก่อนสุกแก่สีเขียว (immature green stage) ไม่มีการขยายขนาดผลให้ใหญ่ขึ้น ผลมีสีเขียวอ่อน ผิวไม่เป็นมัน ยังไม่มีวุ้นเกิดขึ้นภายในผล เมล็ดจะผ่าออกได้ง่ายเมื่อผ่าเมล็ดตามขวาง เมล็ดก่อนการสุกแก่จะไม่มีการงอกและผลยังไม่มีสีที่แท้จริง

2. ระยะสุกแก่สีเขียว (mature green stage) มีสีเขียวสดถึงสีขาว ผลมีลักษณะกลม ผิวผลจะมีแว็กซ์เคลือบอยู่รอบ ๆ เมล็ดจะมีวุ้นเกิดขึ้น เมื่อใช้มีดผ่าครึ่งเมล็ดจะไม่ถูกตัด เมล็ดมีการสุกแก่และสามารถงอกได้ ผลจะสุกแก่ภายใต้สภาพที่เฉพาะเจาะจง

3. ระยะเริ่มเปลี่ยนสี (breaker stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 2 วัน ผลมะเขือเทศเริ่มเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนหรือสีส้มไม่เกินร้อยละ 10 ของพื้นที่ผิว

4. ระยะเปลี่ยนสี (turning stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 4 วัน ผลมะเขือเทศมีสีชมพูเพิ่มขึ้นจากปลายผลร้อยละ 10-30 ของพื้นที่ผิว

5. ระยะสีชมพู (pink stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 6 วัน ผลสีชมพูถึงสีส้มแดงร้อยละ 30-60 ของพื้นที่ผิว

6. ระยะสีเริ่มแดง (light red stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 8 วัน ผลมีสีชมพูแดงถึงสีแดงร้อยละ 60-90 ของพื้นที่ผิว

7. ระยะสีแดง (red stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 10 วัน ผลมีสีแดงร้อยละ 90 ของพื้นที่ผิว

8. ระยะผลสุกสีแดง (red ripe stage) เป็นระยะหลังจากระยะสุกแก่สีเขียว 12 วัน ผลมะเขือเทศสุกสีแดงเข้มตามลักษณะประจำพันธุ์นั้น ๆ

## 2.2 สารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ

มะเขือเทศมีคุณสมบัติต้านโรค โดยเฉพาะโรคมะเร็ง เพราะในมะเขือเทศมีสารอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระมากมาย สำหรับสารสำคัญที่พบมากในมะเขือเทศมากจะเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ได้แก่ เบตาแคโรทีน (Beta Carotene) ลูทีน (Lutein) ไลโคปีน (Lycopene) แอลฟาแคโรทีน (Alpha Carotene)

### 2.2.1 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

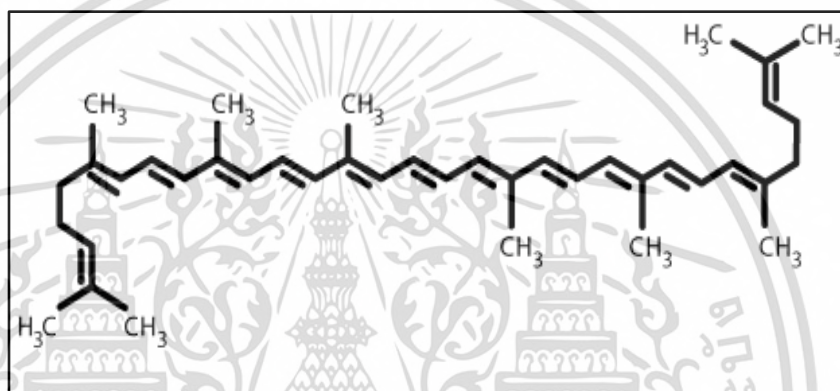
แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีเหลือง-ส้ม พบได้โดยทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิต ที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสง เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากแสง (photoprotective agents) โครงสร้างหลักของรงควัตถุกลุ่มนี้คือการเป็นสายไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ carotenes และ xanthophylls ซึ่ง Carotenes เป็นรงควัตถุที่มีสีส้ม หรือส้ม-แดง เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอน ส่วนรงควัตถุ xanthophyll มีสีเหลือง หรือส้มเหลือง ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยสายยาวของไฮโดรคาร์บอนแล้วยังมี O เป็นองค์ประกอบอีกด้วย ซึ่ง xanthophylls มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับระดับ oxidation ของโมเลกุลพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้

แคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติมีประมาณ 600 ชนิดพบมาก 6 ชนิด คือ แอลฟา-แคโรทีน (alpha-carotene) บีตา-แคโรทีน (beta-carotene) บีตา-คริปโตแซนทิน (beta-cryptoxanthin) ไลโคปีน (lycopene) ลูทีน (lutein) และซีแซนทิน (zeaxanthin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.1 ไลโคปีน (Lycopene)

เป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุสี (pigment) ที่ให้สีเหลือง สีส้ม และสีแดงที่พบมากตามธรรมชาติในผัก ผลไม้ ที่มีสีแดงหรือสีชมพู เช่น มะเขือเทศ แดงโม เกรฟฟรุตสีชมพู (pink grapefruit) ฝรั่งสีแดง เป็นต้น มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย รา แบคทีเรีย เป็นสารตั้งต้นสำคัญทางชีวภาพเพื่อการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น เช่น บีตา-แคโรทีน (beta-carotene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll)



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>

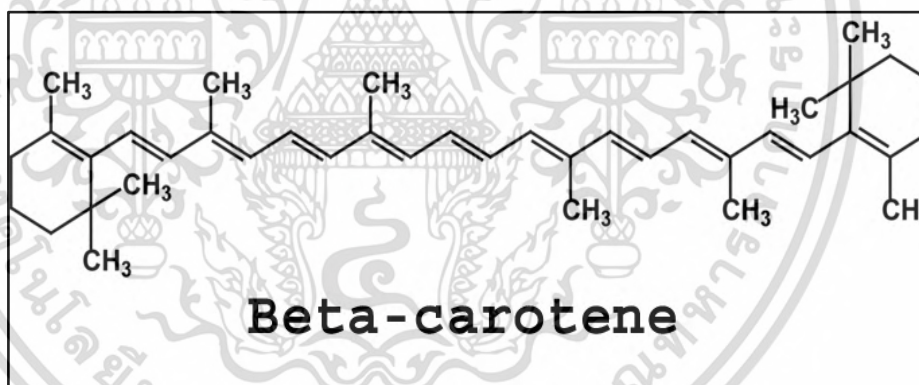
โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน เป็นแคโรทีนอยด์ โครงสร้างเป็นแบบ tetraterpene ประกอบด้วย isoprene 8 หน่วย ต่อเป็นสายยาว ไม่วงแหวนปิด มีพันธะคู่ 11 ตำแหน่ง

ไลโคปีนใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ในกลุ่มสีผสมอาหาร (food coloring) จากธรรมชาติและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ จัดเป็นอาหารฟังก์ชันนัล (functional food) สารสกัดไลโคปีน เป็นโภชนะเภสัช (nutraceutical) ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ แม้ว่าไลโคปีนจะไม่มีสมบัติเป็น provitamin A แต่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความผิดปกติและความเสื่อมของเซลล์ อันเนื่องมาจากการทำลายของอนุมูลอิสระ การได้รับไลโคปีนในปริมาณที่สูง อาจช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.2 เบต้าแคโรทีน (Beta Carotene)

เบต้าแคโรทีน (Beta Carotene) เป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นสารพฤษเคมีที่คุณค่าสูง มีคุณสมบัติเป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ และช่วยลดอัตราการกลายพันธุ์ของ เซลล์และทำลายเซลล์มะเร็งที่เยื่อเยื่อ (มโนวิช และจันทรรัตน์, 2547) เบต้าแคโรทีนพบมากในผักและผลไม้ที่มีรงควัตถุ (pigment) สีส้ม สีเหลือง สีแดง และสีเขียวกว่า ทำหน้าที่ปกป้องพืชจากรังสี อัลตราไวโอเล็ต (UV) ในแสงแดดและสารก่อมะเร็งในสิ่งแวดล้อม ช่วยป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระที่เป็นอันตราย และมีคุณสมบัติเป็น antioxidant ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความแก่ของเซลล์ผิวหนัง ลดริ้วรอย ช่วยทำให้ ผิวหนังมีความชุ่มชื้น (สุวรรณณี, 2544) ปัจจุบันนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง ทำให้ เบต้าแคโรทีนมีราคาค่อนข้างสูง (ประมวล, 2553) อีกทั้งปัจจุบันผู้บริโภคต่างให้ความสนใจในสารสกัด จากธรรมชาติค่อนข้างมาก ดังนั้นการหากระบวนการสกัดสารเบต้าแคโรทีนอยด์จากวัสดุธรรมชาติจึง มีความสำคัญ นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ โดยที่ 1 โมเลกุลของเบต้า-แคโรทีนจะสลายให้วิตามินเอ 2 โมเลกุลทำให้มีการนำมาผลิตเป็นอาหารเสริม



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีเบต้าแคโรทีน

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>

### 2.2.1.3 ลูทีน (Lutein)

เป็นสารธรรมชาติที่มีในพืชผักผลไม้หลายชนิด เป็นสารในตระกูลของสารแคโรทีนอยด์ และพบได้ในบริเวณดวงตา โดยเฉพาะตรงบริเวณเลนส์ตาและจอรับภาพตา ในธรรมชาติแม้จะมีแคโรทีนอยด์ มากกว่า 600 ชนิด แต่มีเพียงสาร 2 ชนิดนี้เท่านั้น ที่พบในจอรับภาพของจอตา สารทั้งสองชนิดนี้จะทำหน้าที่ช่วยกรองหรือป้องกันรังสีจากแสงแดดที่เป็น อันตรายต่อดวงตา และช่วยปกป้องเซลล์ของจอประสาทตาไม่ให้ถูกทำลาย โดยการลดอนุมูลอิสระ ดังนั้น จึงทำ

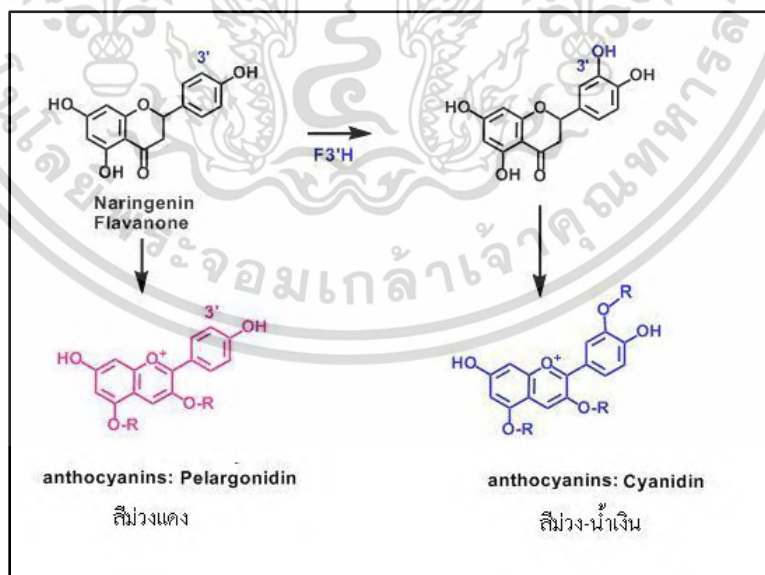
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่บำรุงตา ทำให้จอตาไม่เสื่อมเร็ว เพราะฉะนั้นใครที่อยากถนอมสายตาไว้ ใช้งานนาน ๆ ก็ต้องทานผักผลไม้ สีเหลือง และสีเขียวเข้มแหล่งที่พบ ลูกทิม และ ซี-แซนทิน ในธรรมชาติ นอกจาก จะพบมากในดอกดาวเรือง และโกจิเบอร์รี่ (เก๋ากี้) แล้ว ยังพบใน กะหล่ำ ผักโขม ถั่วลันเตา ต้นอ่อนกะหล่ำดาว ถั่วพิสตาชิโอ แครอท ผักคะน้า ผักบุ้ง ผักปวยเล้ง ผักกาดหอม ผักโขม แดงกวาทังเปลือก ชูกินีทั้งเปลือก ถั่วแขก อะโวคาโด มัสตาร์ด ฟักทอง เป็นต้น

การบริโภคพืชผักที่มีลูทีนและซีแซนทิน หรือแม้แต่อาหารสุขภาพที่มีสารสำคัญนี้ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพของดวงตา มีส่วนช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหลายชนิดด้วยกัน ที่สำคัญคือ โรคต้อกระจก และโรคจุดรับภาพเสื่อม

## 2.2.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ  $C_6C_3C_6$  (Harbone และ Grayer, 1988; สุดารัตน์, 2551) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้น ที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin ในสารละลายตัวกลาง แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยมีโครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วง-น้ำเงิน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วงน้ำเงิน

ที่มา : (วิจิต และวรวรรณ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดแอนโทไซยานิน มีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน พบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ ซึ่งวารสารทางการแพทย์ ทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรป ยกย่องคุณประโยชน์ของแอนโทไซยานินว่า ช่วยลดโอกาส การเกิดมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งชนิดเนื้องอก ช่วยเสริมให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรคและสมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายให้ดีขึ้น ส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดง ชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ เพิ่มความสามารถในการมองเห็น ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน ชะลอความแก่โดยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ดังนั้นหากใครสามารถรับประทานข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงได้เป็นประจำจะได้รับประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพและทำให้ร่างกายปราศจากโรคร้ายต่าง ๆ (วิจิต และวรวรรณ, 2557) และยังช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อีโคไล (Escherichia coli) ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษด้วย

### 2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานิน

#### ก. อุณหภูมิและแสงสว่าง

แอนโทไซยานินมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีและเพียงพอสำหรับการใช้ใน กระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น แยม การต้ม น้ำตาลและผลไม้กระป๋อง การเกิด Acylation กับ โมเลกุลน้ำตาลจะเพิ่มความคงทนต่อความร้อนและแสงมากขึ้น เช่น กะหล่ำปลีแดง ประกอบด้วย Mono- และ Di-acylated anthocyanin มาก จึงทำให้มีความคงทนต่อความร้อนและแสงดี(Hendry, 1996)

#### ข. ออกซิเจนและกรดแอสคอร์บิก

ออกซิเจนมีส่งผลร้ายต่อแอนโทไซยานิน และเป็นที่รู้กันว่าการเก็บแอนโทไซยานินภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจน แอนโทไซยานินจะมีความคงตัวกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้การเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานินควรปราศจากออกซิเจนและช่องว่างอากาศ (Headspace) ที่เหลือควรมีน้อย เพื่อป้องกันแอนโทไซยานินลดลงระหว่างเก็บรักษาและจัดจำหน่าย ออกซิเจนยังสามารถลดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งทางตรงและ ทางอ้อมโดยการออกซิไดส์สารประกอบแอนโทไซยานินและนอกจากนี้ ไอออนของโลหะและกรด แอสคอร์บิกก็มีส่วนในการทำให้เกิดการออกซิไดส์สารประกอบแอนโทไซยานินเช่นกัน (Skrede and Wrolstad, 2002)

#### ค. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติของการบอกค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH indicators) ได้โดย สารละลายแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปยัง 4, 6, 8, 12 จนถึงค่าความเป็น กรด-ด่าง 13 ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้แอนโทไซยานินเพื่อให้ได้

ระดับสีที่สีจึงควรใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดเท่านั้น ซึ่งมีค่าความเป็น กรด-ต่างไม่เกิน 4 (Hendry, 1996)

ง. ปัจจัยอื่น ๆ

การใช้เอนไซม์บางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผลไม้ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินได้เนื่องจากจะพบ Glucosidase เสมอเมื่อเตรียมเอนไซม์บางชนิด (Hendry, 1996)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินทำให้ผลิตภัณฑ์สีจางโดย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถย้อนกลับได้แต่ควรใช้สารที่เป็นส่วนประกอบของ Benzoate และ Sorbate แทนจะเหมาะสมกว่า (Hendry, 1996)

แอนไซยานินชนิดผงมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.3 พบว่ามีความคงตัว สามารถเก็บได้หลายปีเมื่อเก็บในถุงที่มีการซีลปิดสนิท ประจุบวกบางชนิดที่เป็น Di และ Trivalent metal ion เป็นสาเหตุให้เกิด Bathochromic shift ของการดูดกลืนแสงสูงสุดของความยาวคลื่น ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของ สีน้ำเงินและเกิดการตกตะกอนของรงควัตถุ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอนโทไซยานินสัมผัสกับเหล็ก (Iron) โลหะ (Mild steel) และทองแดง (Copper) และการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารลงในกระป๋องดีบุกควรมีการเคลือบแลคเกอร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (Hendry, 1996)

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาสารรงควัตถุทั้งในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรสายพันธุ์ต่าง ๆ และพบว่า สารสีม่วงแดงในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรเป็นสารบีตาไซยานิน (Esquivel, Stintzing, and Carle 2007, Harivaindaran et al., 2008; Rebecca, Boyce, and Chandran, 2010; Stintzing, Schieber, and Carle, 2002; Wu et al., 2006; Wybraniec et al., 2001)

## 2.3 การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Photo Synthesis)

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะต้องมีรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และ ไฟโคบิลิน เป็นกระบวนการที่พืชและสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานแสงให้มาอยู่ในรูปของพลังงานเคมีที่อยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลสารอินทรีย์นี้ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของพืชและสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้อาจถือได้ว่าเป็นเพียงกระบวนการเดียวของพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถดึงพลังงานจากดวงอาทิตย์ให้เข้ามาหมุนเวียนในโลก

พืชหรือสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จะต้องมีสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นไปใช้ในการสร้างพันธะเคมี (chemical bond) ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ โมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืชและสิ่งมีชีวิตนี้คือ รงควัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(pigment) รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic pigment) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของโครงสร้างของโมเลกุล ได้แก่

- Chlorophyll เป็นรงควัตถุที่พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โครงสร้างประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น porphyrin-like structure ซึ่งมี  $Mg^{2+}$  อยู่ส่วนกลางของโครงสร้าง และส่วนที่เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนที่เป็น hydrophobic region ซึ่งฝังตัวอยู่บน photosynthetic membrane ในคลอโรพลาสต์

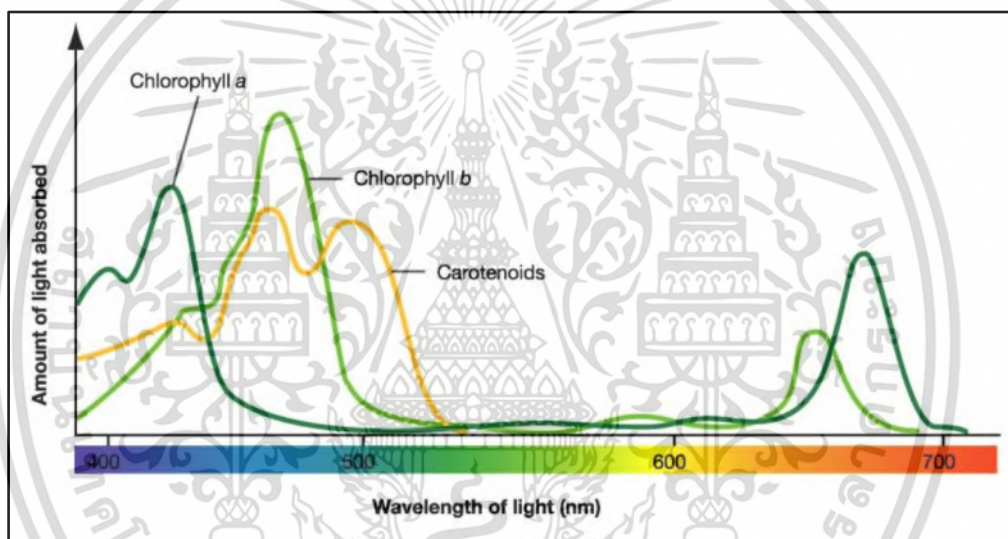
- Phycobilins เป็นรงควัตถุที่เป็น accessory light-harvesting pigments ที่พบใน cyanobacteria และสาหร่ายสีแดง มีโครงสร้างเป็น open-chain tetrapyrrolesphycobilins ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปมี 3 ชนิดคือ phycoerythrin (หรือ phycoerythrobilin) phycocyanin (หรือ phycocyanobilin) และ allophycocyanin (allophycocyanobilin) ซึ่งทั้งสามชนิดนี้จะไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบเฉพาะใน cyanobacteria และสาหร่ายสีแดงเท่านั้น

- Carotenoids กลุ่มรงควัตถุที่มีสีเหลือง-ส้ม พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสง accessory light-harvesting pigment เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากแสง (photoprotective agents) กลุ่มรงควัตถุที่มีสีเหลือง-ส้ม พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสง accessory light-harvesting pigment เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากแสง (photoprotective agents)

โครงสร้างหลักของรงควัตถุกลุ่มนี้คือ การเป็นสายไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ carotenes และ xanthophylls Carotenes เป็นรงควัตถุที่มีสีส้ม หรือส้ม-แดง เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอน ส่วน xanthophyll มีสีเหลือง หรือส้ม-เหลือง ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยสายยาวของไฮโดรคาร์บอน แล้ว ยังมี O เป็นองค์ประกอบอีกด้วย ซึ่ง xanthophylls มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับระดับ oxidation ของโมเลกุลพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ พืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีทั้งที่เป็น prokaryote และ eukaryote กลุ่มที่เป็น prokaryote ได้แก่ แบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ (photosynthetic bacteria) และ cyanobacteria ส่วนพวก eukaryote ที่สังเคราะห์แสงได้ ได้แก่ สาหร่ายชนิดต่าง ๆ มอส เฟิร์น สน ปรง และพืชมีดอก ซึ่งสร้างรงควัตถุที่พืชและสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดใช้ในการรับพลังงานแสง เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ก็อาจจะแตกต่างกันไป

### 2.3.1 การดูดกลืนแสงของรงควัตถุ (Light absorption)

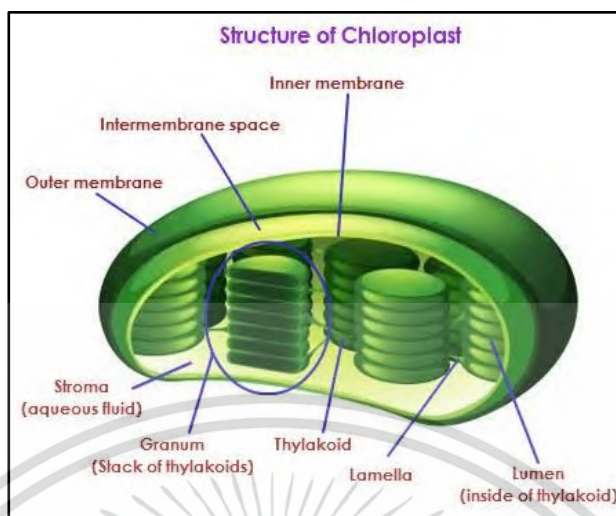
รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.5 แสงธรรมชาติที่พบ จะประกอบด้วยแสงที่ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน แสงในช่วงคลื่นที่เราสามารถมองเห็นได้ (visible light) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ที่ใด เมื่อพิจารณาโครงสร้างของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งสามกลุ่มจะพบว่ามีสมบัติร่วมกันคือ มีส่วนของโมเลกุลที่มีขั้วตำหรือไม่มีขั้ว ดังนั้นโมเลกุลเหล่านี้จะฝังตัวอยู่บนเมมเบรนภายในเซลล์ ในพืชและสิ่งมีชีวิตที่เป็น prokaryote รงควัตถุเหล่านี้จะฝังตัวอยู่บน photosynthetic membrane ในขณะที่พืชและสิ่งมีชีวิตกลุ่ม eukaryote จะมีออร์แกเนลล์พิเศษที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยเฉพาะ คือ คลอโรพลาสต์



รูปที่ 2.5 แถบแสดงความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงของโมเลกุลรงควัตถุชนิดต่าง ๆ

ที่มา : <http://upic.me/show/48599350>

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งสามกลุ่ม จะพบว่ามีสมบัติร่วมกันคือ มีส่วนของโมเลกุลที่มีขั้วตำหรือไม่มีขั้ว ดังนั้นโมเลกุลเหล่านี้จะฝังตัวอยู่บนเมมเบรนภายในเซลล์ ในพืชและสิ่งมีชีวิตที่เป็น prokaryote รงควัตถุเหล่านี้จะฝังตัวอยู่บน photosynthetic membrane ในขณะที่พืชและสิ่งมีชีวิตกลุ่ม eukaryote จะมีออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยเฉพาะ คือ คลอโรพลาสต์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างคลอโรพลาสต์

ที่มา : <https://sites.google.com>

คลอโรพลาสต์ส่วนใหญ่ เป็นออร์แกเนลล์รูปร่างกลมรี สามารถเห็นได้ชัดเจนด้วยกล้องจุลทรรศน์ (light microscope) คลอโรพลาสต์มีเยื่อหุ้มเป็น 2 ชั้น คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) และเยื่อหุ้มชั้นใน (inner membrane) ภายในบรรจุของเหลวซึ่งมีเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงละลายอยู่หลายชนิด เรียกส่วนของเหลวนี้ว่า stroma เมื่อตัดผ่านคลอโรพลาสต์และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะพบว่าภายในจะเห็นลักษณะเป็น membrane ซ้อนทับกันอยู่เป็นกลุ่ม ๆ แผ่นเยื่อ (membrane) ที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์นี้เรียกว่า ไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) บางส่วนของไทลาคอยด์จะอยู่ซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ เรียกชั้นของไทลาคอยด์นี้ว่า กรานุม (granum) (พหูพจน์คือ กรานา (grana)) หรือ grana lamellae และส่วนที่ไม่ได้ซ้อนทับกันเรียกว่า stroma lamellae หรือ stroma thylakoid thylakoid membrane นี้เองที่เป็นตำแหน่งที่อยู่ของรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง บริเวณกรานุม ซึ่งคือไทลาคอยด์ที่ซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ นั้น ถ้าพิจารณาในรายละเอียดจะพบว่า การซ้อนทับกันเป็นการซ้อนที่มีลักษณะเป็นถุงกลมแบน วางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ภายในถุงมีของเหลวบรรจุอยู่ เรียกส่วนภายในถุงนี้ว่า lumen หรือ thylakoid space)

### 2.3.2 กลไกในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีในโมเลกุลของสารอินทรีย์นั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

#### 2.3.2.1 ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง

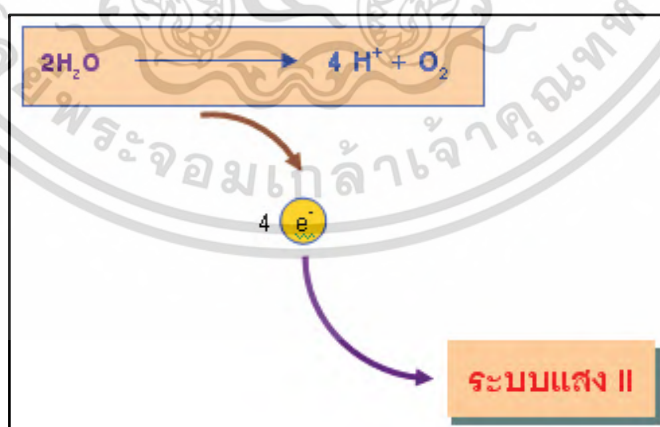
ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณไทลาคอยด์ เป็นการที่รงควัตถุรับพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นมาใช้ในการสร้างสารที่มีพลังงานสูง ซึ่งได้แก่ ATP และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NADPH เพื่อที่จะได้นำพลังงานจากโมเลกุลเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณ สโตรมาในคลอโรพลาสต์รงควัตถุชนิดต่างๆ ที่อยู่บนไทลาคอยด์ จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยมีการเกาะตัวอยู่กับโปรตีนหลายชนิด กลุ่มของโปรตีนบนไทลาคอยด์ที่มีรงควัตถุประกอบอยู่ด้วยนี้เรียกว่า ระบบแสง (photosystem) ในพืชชั้นสูงรงควัตถุที่ประกอบอยู่ในระบบแสงได้แก่ แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ เอ

พืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ส่วนใหญ่มีระบบแสง 2 ระบบคือ ระบบแสง I (photosystem I) และระบบแสง II (photosystem II) ซึ่งระบบแสงทั้งสองจะทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้สามารถเกิดการส่งพลังงานในการสร้าง ATP และ NADPH เมื่อระบบแสงได้รับพลังงานโดยการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่อยู่ในระบบแสง จะมีการส่งถ่ายพลังงานที่ได้รับสู่ศูนย์กลางปฏิกิริยา(reaction center) ซึ่งคือ คลอโรฟิลล์ เอ

ในระบบแสงจะมีหน่วยรับพลังงานแสง ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิดทั้ง แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ เอ ที่ทำงานร่วมกันในการรับพลังงานแสงแล้วส่งพลังงานนั้นเข้าสู่ศูนย์กลางปฏิกิริยา ซึ่งคือโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งโมเลกุลคลอโรฟิลล์ เอ นี้เมื่อได้รับพลังงานในช่วงคลื่นที่พอเหมาะ อิเล็กตรอนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ จะถูกกระตุ้นให้อยู่ในชั้นของระดับพลังงานที่สูงขึ้น (excited state) พร้อมทั้งจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้ให้กับตัวรับอิเล็กตรอนตัวถัดไป ความแตกต่างประการหนึ่งของ ระบบแสง I และระบบแสง II ในด้านของการรับพลังงานคือ ระบบแสง I ประกอบด้วยหน่วยรับพลังงานแสงที่รับพลังงานในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นไม่ต่ำกว่า 700 นาโนเมตร ในขณะที่ ระบบแสง II จะประกอบด้วยหน่วยรับพลังงานแสงที่มีช่วงคลื่นไม่ต่ำกว่า 680 นาโนเมตร



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการแยกสลายโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานแสง

ที่มา : <http://www.sc.chula.ac.th.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายโมเลกุลของน้ำด้วยพลังงานแสงที่เรียกว่า photolysis กระบวนการที่น้ำสูญเสียอิเล็กตรอนไปให้กับตัวรับอิเล็กตรอนแล้วเกิดผลิตภัณฑ์คือ  $O_2$  อันเนื่องมาจากกระบวนการใน คลอโรพลาสต์ ซึ่งค้นพบโดย Robert Hill ในปี 1937 ส่วนระบบแสง I เมื่อศูนย์กลางปฏิกิริยาสูญเสียอิเล็กตรอนไปให้กับตัวรับอิเล็กตรอนตัวถัดไปนั้น ไม่สามารถทำให้เกิดแรงดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำได้ แต่สามารถรับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่น ๆ ที่ได้รับ อิเล็กตรอนจากระบบแสง II ในที่สุด  $e^-$  จะถูกถ่ายทอดไปยัง  $NADP^+$  ซึ่งเป็นตัวรับ  $e^-$  ตัวสุดท้ายในปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง ได้เป็น  $NADPH$  ซึ่งจะนำไปใช้ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป

ในระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก ระบบแสง I ไปสู่ ระบบแสง II จะผ่านระบบการรับอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานบางส่วนที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน นำมาใช้ในการสร้าง ATP ด้วย ทำให้เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง ทำให้เกิดสารที่มีพลังงานสูงสองชนิดคือ  $NADPH$  และ ATP ที่จะถูกนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป และยังเกิดการสร้าง  $O_2$  ที่ได้จากการสลายของโมเลกุลน้ำขึ้นอีกด้วย ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก ระบบแสง II ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายของปฏิกิริยา ได้เป็น  $NADPH$  นี้ เรียกการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเช่นนี้ว่า การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer) (ภาพที่ 8) อย่างไรก็ดี เมื่อ ระบบแสง I ถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวถัดไปแล้ว อาจไม่ได้มีการส่ง  $e^-$  ต่อไปจนถึง  $NADP^+$  ก็ได้ แต่ส่ง  $e^-$  กลับมายังระบบที่รับ  $e^-$  จาก ระบบแสง II แทน ซึ่งสามารถส่ง  $e^-$  กลับไปยังระบบแสง I ได้อีก ดังภาพที่ 9 ทำให้เกิดการถ่ายทอด  $e^-$  แบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer) ซึ่งในกรณีเช่นนี้ จะทำให้พลังงานแสงที่ถูกดูดกลืน ไม่ได้นำไปใช้ในการสังเคราะห์  $NADPH$  แต่สามารถนำไปใช้ในการสร้าง ATP ได้

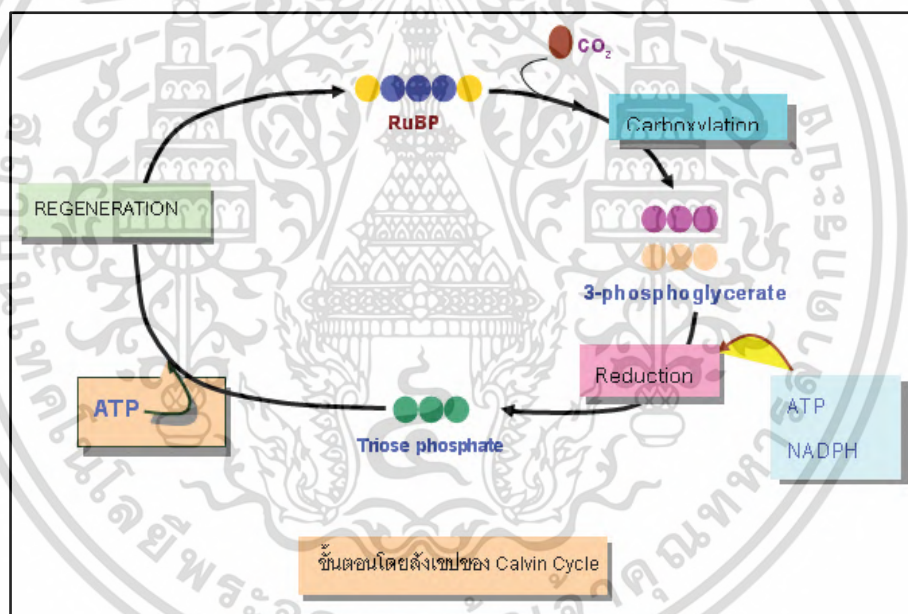
### 2.3.3 ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ fixation Reaction)

ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า Calvin Cycle ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นำพลังงานจาก ATP และ  $NADPH$  ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง มาใช้ในการสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์จากสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์เหล่านี้เองเป็นต้นกำเนิดให้เกิดการนำพลังงานที่เก็บไว้ในโมเลกุลไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของพืชต่อไป รวมทั้งการสร้างสารชนิดอื่นๆ เกิดการเจริญเติบโต ตลอดจนเป็นแหล่งอาหารของผู้บริโภคลำดับถัดขึ้นไปแต่เดิมเชื่อว่าการเกิดปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ไม่จำเป็นต้องใช้แสง จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า Dark reaction หรือปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้แสง แต่ต่อมาพบว่า เอนไซม์หลายชนิดที่ทำงานในกระบวนการนี้ ต้องได้รับการกระตุ้นด้วยแสงก่อน จึงสามารถทำงานได้ ในปัจจุบันจึงไม่นิยมเรียกกระบวนการนี้ว่า Dark reaction

Calvin cycle เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน stroma ของ chloroplast ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ Carboxylation Reduction และ Regeneration

1. Carboxylation เป็นขั้นตอนที่ ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) เข้ารวมกับ  $\text{CO}_2$  และเกิดเป็น 3-phosphoglycerate 2 โมเลกุล ซึ่งเป็นสารเสถียร (stable intermediate) ตัวแรกของ Calvin cycle
2. Reduction เป็นขั้นตอนที่ 3-phosphoglycerate ถูก reduced เกิดเป็น glyceraldehyde-3-phosphate ซึ่งเป็นสารประเภทน้ำตาล ขั้นตอนนี้จะมีการใช้สารพลังงานสูงที่ได้จากปฏิกิริยาแสง คือ ATP และ NADPH
3. Regeneration เป็นขั้นตอนที่จะสร้างโมเลกุล RuBP ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง เพื่อวนกลับไปเป็นตัวรับ  $\text{CO}_2$  ในรอบต่อไป ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยพลังงานจาก ATP ซึ่งได้จากปฏิกิริยาแสง

ภาพโดยสรุปของขั้นตอนของ Calvin Cycle ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนของ Calvin Cycle

ที่มา : <http://www.sc.chula.ac.th.com>

## 2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (วิจิตร, 2562)

การศึกษากการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียม ได้มีการศึกษาผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผักกะเพราและโหระพามาแล้วนั้น พบว่าในแสงแอลอีดีสีน้ำเงินและแสงแอลอีดีสีแดงสามารถกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้นได้ในผักกะเพราและโหระพา และเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากมะเขือเทศมีงานวิจัยศึกษาซึ่งพบว่าปริมาณไลโคปีนที่สูงกว่าพืชชนิดอื่น ๆ และในปัจจุบันมีการให้ความสนใจบริโภคมะเขือเทศมากกว่าผักชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ได้เพิ่มมูลค่าทางโภชนาการต่อการบริโภคผักในปัจจุบันเป็นอย่างมาก จึงเลือกใช้ในการศึกษาการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียม (ชานนท์, 2560) ผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักบุงเงินที่ปลูกในระบบอะควาโพนิก จากการศึกษาพบว่า หลอดแอลอีดีสีแดงให้ความสูงต้นทั้งสองสัปดาห์ และน้ำหนักสดของต้นผักบุงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแสงสีอื่นๆ ในขณะที่หลอดแอลอีดีสีขาวให้ความกว้างลำต้น จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของราก และค่า SPAD สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงสีอื่นๆ ดังนั้น จากผลการทดลอง แสงไฟแอลอีดีสีขาว และแสงไฟสีแดงผสมสีน้ำเงิน (1:1 หรือ 2:1) สามารถนำมาปรับใช้ในระบบการผลิตพืชในอาคาร หรือพื้นที่ที่ไม่มีแสงจากธรรมชาติได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วัสดุและวิธีการ

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

##### 3.1.1 วัสดุ

- 1) มะเขือเทศสีดำที่มีพื้นที่สีแดงร้อยละ 90-98 ของทั้งลูก
- 2) มะเขือเทศราชินีที่มีพื้นที่สีแดงร้อยละ 90-98 ของทั้งลูก
- 3) สารเคมี
  - อะซีโตน
  - เอทานอล
  - เฮกเซน
  - Butylated hydroxytoluene
  - กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

##### 3.1.2 อุปกรณ์

- 1) โฟม หนา 1 นิ้ว
- 2) พัดลม 220v SUNON
- 3) ชุดควบคุม TC-3028
- 4) ตัวพ่นหมอก
- 5) ไฟแอลอีดี (สีน้ำเงิน สีขาว สีแดง) OTOKO
- 6) อุปกรณ์ตั้งเวลาแบบอนาล็อก TECSTAR
- 7) กล่องกระดาษขนาด 30x30x30 เซนติเมตร
- 8) ไฟแอลอีดีสีขาว 12V
- 9) อุปกรณ์แปลงไฟ CONNECT
- 10) กระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 เครื่องมือ

- 1) ตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan)
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (UF55, Memmert, Germany)
- 3) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ATX224, SHIMADZU, Japan)
- 4) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (MERCK PROVE 300)
- 5) เครื่องปั่น (SHARP EM-ICE2)
- 6) เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) (Genie 2 G560E, USA)
- 7) เครื่องมือด้าน Hardware
  - โทรศัพท์ (iPhone X)
- 8) เครื่องมือทางด้าน Software
  - แอปพลิเคชัน Adobe Lightroom CC ตั้งค่า Sec1/800 ISO 200
  - White balance ระยะโฟกัส 25 เปอร์เซ็นต์
  - โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศด้วยแสงเทียมมีตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษาคือ ช่วงเวลาในการให้แสง (8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง) และแสงสีที่ให้ (สีน้ำเงิน สีขาว สีแดง และไม่ให้แสง) จากนั้นนำมะเขือเทศมาวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (สารไลโคปีน สารแอนโทโรไซยานิน) มีขั้นตอนโดยภาพรวมดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองโดยรวม

#### 3.2.1 วิธีการทำกล่องควบคุม

ในการทำการทดลองจะโดยสร้างกล่องควบคุมขึ้นมาเพื่อควบคุมสภาวะของการให้แสงสีให้เหมือนการทำการทดลองและต้องควบคุมสภาวะที่เหมาะสมกับมะเขือเทศ โดยกล่องควบคุมจะประกอบด้วยโฟม (หนา 1 นิ้ว), พัดลม (SUNON), เครื่องควบคุม (STC-3028), ตัวพ่นหมอก, ไฟแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(OTOKO), ตัวตั้งเวลา โดยพัสดมจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20-24 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระพัฒนาขึ้น (ทับทิม, 2551) ให้พัสดมทำงานเมื่อมีอุณหภูมิเกิน 24 องศาเซลเซียสและหยุดทำงานที่ 20 องศาเซลเซียส และตัวพ่นหมอกควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 60-70 %rH เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับมะเขือเทศ (สมภพ, 2530) มีวิธีการดังนี้

### 3.2.2 สอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในการทำกล่องควบคุมมีการใช้เครื่องควบคุมที่มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น จึงต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยนำเครื่องควบคุมสอบเทียบ (STC-3028) กับเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิ (Digitcon HT-770) จากนั้นสร้างสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกัน 5 สภาวะ และทำการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละสภาวะ จับเวลา 10 นาที วัดค่าทุก ๆ 1 นาที จะได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นในแต่ละสภาวะมาจำนวน 10 ค่า นำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์

### 3.2.3 การหาความเข้มแสงในแต่ละแสงสี

ความเข้มแสงมีผลต่อการตอบสนองของพืช โดยแสงจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชและการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช จึงต้องใช้ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับมะเขือเทศ ในงานวิจัยการให้แสงสีเพื่อเพิ่มการสังเคราะห์ไลโคปีนในมะเขือเทศนั้นให้ค่าความเข้มแสงกับต้นมะเขือเทศที่  $50 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$  (XIE Bao-xing, 2019) (PPFD) คือ Photosynthetically Photon Flux Density (PAR) เป็นจำนวนโฟตอน หรือพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน่วยเป็นไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาทีจึงนำค่าความยาวคลื่นของแต่ละแสงสีมาคำนวณหาค่าความเข้มแสงให้ได้หน่วย  $\text{mw/cm}^2$  มาใช้กับเครื่องมือ Compact Power and Energy Meter Console ยี่ห้อ Thorlab รุ่น PM100D ด้วยสมการ (3.1)

$$E = (nxhxc)/\text{ความยาวคลื่น} \quad (3.1)$$

- โดย E คือ ค่าพลังงานของโปรตอน 1 ตัว ( $\text{J/cm}^2$ )  
 n คือ จำนวนโมลโดย 1 โมลคือ  $6.022 \times 10^{23}$  (molecule/mol)  
 h คือ ค่าคงตัวของพลังค์ ( $6.626 \times 10^{-34}$  Js)  
 c คือ ค่าอัตราเร็วของแสง ( $3 \times 10^8$  m/s)

เมื่อได้ค่าความเข้มแสงของแต่ละแสงสีแล้วก็นำมาหาความสูงโดยการนำค่ามาปรับหาระยะความสูงกับเครื่องมือ Compact Power and Energy Meter Console ยี่ห้อ Thorlab รุ่น PM100D

### 3.2.4 ตรวจสอบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมขณะตัวควบคุมทำงาน

กล่องควบคุมนี้ใช้พัดลมควบคุมอุณหภูมิและตัวพ่นหมอกจะควบคุมความชื้น เมื่อได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นตามต้องการแล้ว เครื่องควบคุมจะสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมทั้งสองหยุดทำงาน จึงต้องทำการตรวจสอบความคงที่ของค่าอุณหภูมิและความชื้นในช่วงที่เครื่องควบคุมทำงาน ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิความชื้น (Data Logger) (Testo-174H) กำหนดให้บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟอุณหภูมิและความชื้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา

## 3.3 การเตรียมตัวอย่าง

เมื่อได้มะเขือเทศมาแล้วต้องมีวัดระดับความสุขของมะเขือเทศโดยการการคัดเลือกมะเขือเทศเพื่อควบคุมระดับความสุขของมะเขือเทศ ทำโดยการถ่ายรูปด้วยโทรศัพท์มือถือ (iPhone X) แล้วใช้แอปพลิเคชัน Adobe Lightroom CC ตั้ง ค่าพารามิเตอร์ให้เหมือนกันทุกลูก ถ่ายกับกล่องถ่ายรูปแล้วนำมาวิเคราะห์ค่าสีเพื่อวัดระดับความสุข โดยจะใช้มะเขือเทศ 5 ลูก มาถ่ายรูปทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสีมะเขือเทศเทียบกับวิธีการวัดระดับความสุขด้วยโปรแกรม ImageJ ซึ่งมี 2 วิธี

### 3.3.1 การทำกล่องถ่ายรูป

นำกล่องกระดาษลังสำเร็จรูปพร้อมฝาเปิด ขนาด 30x30x30 เซนติเมตร มาติดกระดาษขาวข้างในทุกด้าน เพื่อให้เป็นพื้นหลังสำหรับถ่ายรูป เจาะรูสี่เหลี่ยมขนาด 13x15 เซนติเมตร ที่ด้านหน้ากล่อง แล้วเจาะรูวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตรที่ตรงกลางของฝากล่อง เพื่อให้สามารถถ่ายรูปได้ นำไฟแอลอีดีสีขาว 12V มาติดที่ฝากล่องและต่อสายไฟอุปกรณ์แปลงไฟ CONNECT

### 3.3.2 วิธีวัดระดับความสุขด้วยพื้นที่สีแดง

การคัดเลือกมะเขือเทศจะคัดเลือกจากระดับความสุขของมะเขือเทศโดยจะพิจารณาพื้นที่สีแดงที่ผลของมะเขือเทศ ซึ่งมะเขือเทศที่มีสีแดงร้อยละ 90 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนั้นจะเป็นระยะหลังจากที่สุกแก่สีเขียวมาแล้ว 10 วัน (ทับทิม, 2551) และเพื่อควบคุมความสุขให้ทุกลูกในการทดลองเท่ากันจึงคัดเลือกให้มีพื้นที่ร้อยละ 90 – 98

### 3.3.3 วิธีวัดระดับความสุขด้วย HSV

ระบบสีHSV เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยค่า H คือ Hue จะเป็นค่าสีของสีหลักซึ่งประกอบด้วยสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยค่าสีแดงจะแทนมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นสีก็จะเปลี่ยนแปลงไป ค่า S คือ Saturation เป็นค่าความบริสุทธิ์ของสีถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงเป็นสีขาวล้วน ค่า V คือ Value เป็นค่าความสว่างถ้าค่ามากก็จะสว่างมาก โดยในวิธีนี้จะนำค่าเฉลี่ยของค่า Hue มาวิเคราะห์โดยการเขียนกราฟเพื่อแสดงความเปลี่ยนแปลงของค่าสี ด้วยโปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์สารไลโคปีน (กานดาวิ, 2556)

เตรียมสารละลายอะซีโตนที่มี BHT 0.0025 g : เอทานอล : เฮกเซน (5:5:10) ml นำมะเขือเทศแต่ละลูกมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก จากนั้นปั่นให้ละเอียด แล้วนำมะเขือเทศที่ปั่นละเอียดแล้วมาผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้ แล้วนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง แยกสารสกัดที่ได้ใส่ในหลอดทดลองเติมเฮกเซน แล้วนำไปวางบนเครื่อง vortex 1 นาที จากนั้นปิเปตเอาส่วนด้านบนที่เป็นสารสีใส่ในหลอดทดลองแยกไว้ เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็นแบลนด์ ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) นำค่าที่ได้มาเข้าสมการ (3.3) หาปริมาณไลโคปีน

$$L = (A_{503} \times 31.2) / (\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}) \quad (3.3)$$

โดยที่	L	คือ	ปริมาณไลโคปีน (ml/g)
	$A_{503}$	คือ	ค่าที่ได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
	31.2	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์เอกซ์ทิงชันของโมเลกุล ไลโคปีนในเฮกเซน ( $17.2 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) ที่มวลโมเลกุล (536.9 กรัม) และการเปลี่ยนหน่วยเป็นมาตรฐานแห่ง

#### 3.4.2 การวิเคราะห์แอนโทไซยานิน (นพวรรณ, 2560)

เตรียมมะเขือเทศมาชั่งน้ำหนักแล้วหั่น จากนั้นนำไปต้มใน ตัวทำละลาย 1% HCl ในเอทานอล ด้วยปริมาตรที่เท่ากับมะเขือเทศ ด้วยตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วเอามากรองสองรอบใช้ปิเปตดูด สารสกัดมา 0.5 ml เจือจางใน 1% HCl ในเอทานอลปริมาตรเท่ากับสารละลายที่นำไปต้ม จากนั้นก็แบ่งใส่หลอดทดลองหลอดละ 3 ml จำนวน 3 หลอด นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 535 โดยใช้ตัวทำละลาย 1% HCl ในเอทานอล เป็นแบลนด์ จากนั้นนำมาคำนวณดังนี้

- คำนวณหาขั้นที่ 1 หาค่าการดูดกลืนแสง (OD)  $A = (B \times C \times D \times 25) / (E \times F)$

- คำนวณหาขั้นที่ 2 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด =  $A / 98.2 \text{ mg/ml}$

กำหนด A = ค่า OD ทั้งหมดต่อตัวอย่าง

B = ค่า OD ของตัวอย่างที่ 535 nm

C = ปริมาณของตัวอย่างจากการสกัดที่ปรับปริมาตรเพื่อวัดค่าดูดกลืนแสง (ml)

D = ปริมาตรของสารสกัดทั้งหมดที่ได้ (ml)

E = ค่าปริมาตรตัวอย่างที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสง (ml)

F = ปริมาณตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้นในการสกัด (g หรือ mg)

98.2 = ค่าสัมประสิทธิ์ (Extinction coefficient ( $E_{cm1\%}$ )) เฉลี่ยของแอนโทไซยานิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การหาช่วงเวลาที่เหมาะสม

นำมะเขือเทศสีดาที่ผ่านการคัดเลือกจากโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธีการหาพื้นที่สีแดง มาให้แสงสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง  $50 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$  เป็นเวลา 3 ช่วง คือ 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง โดยเริ่มให้แสงเวลา 24.00 นาฬิกา ด้วยตัวตั้งเวลา เก็บครั้งที่ 1 เวลา 8.00 นาฬิกา แล้วนำไปแช่ในตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan) เก็บครั้งที่ 2 เวลา 12.00 นาฬิกา นำไปแช่ในตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan) เย็น เก็บครั้งที่ 3 เวลา 16.00 นาฬิกา นำไปแช่ในตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan) วันต่อมาจึงทำการวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระ (สารไลโคปีนและสารแอนโทไซยานิน)

### 3.6 การหาแสงสีที่เหมาะสม

นำมะเขือเทศสีดามาให้แสงสีที่ต่างกัน ได้แก่ สีน้ำเงิน สีขาว สีแดง และไม่ให้แสง ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม จากวิธีที่ 3.5 จากนั้นนำไปวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (สารไลโคปีนและสารแอนโทไซยานิน)



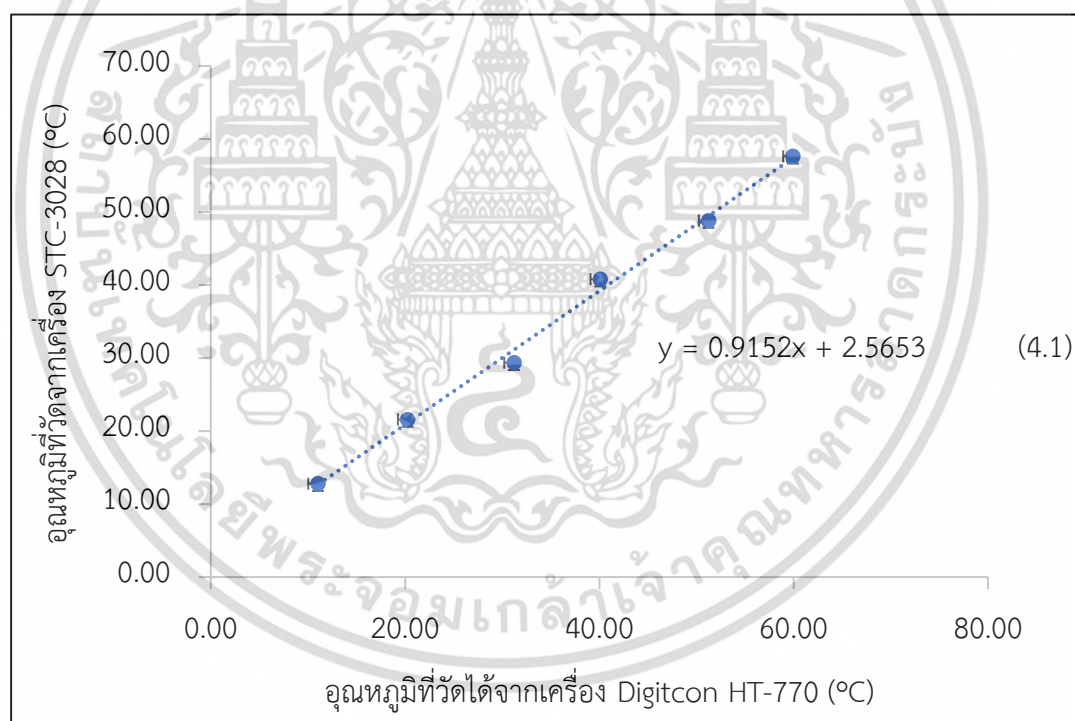
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์การทดลอง

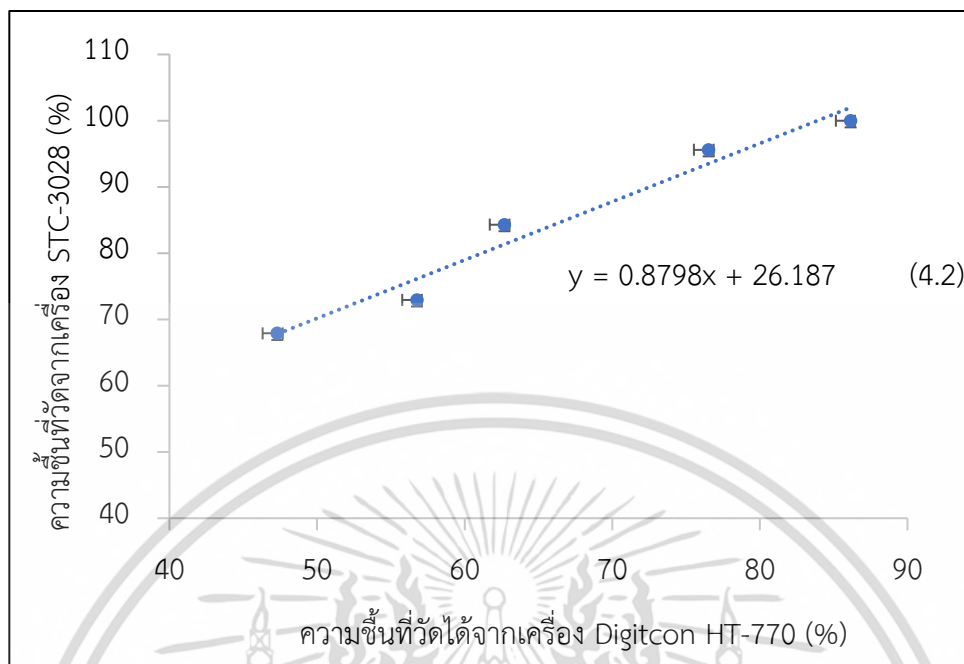
#### 4.1 กล้องควบคุม

##### 4.1.1 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

จากการที่ได้สอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (STC-3028) ที่อยู่ในกล่องควบคุมกับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Digitcon HT-770) นำค่าของแต่ละสภาวะมาเขียนกราฟความชื้น (รูปที่ 4.1) และกราฟอุณหภูมิ (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง (STC-3028) และ (Digitcon HT-770)



รูปที่ 4.2 แสดงการสอบเทียบความเข้มของเครื่อง (STC-3028) และ (Digitcon HT-770)

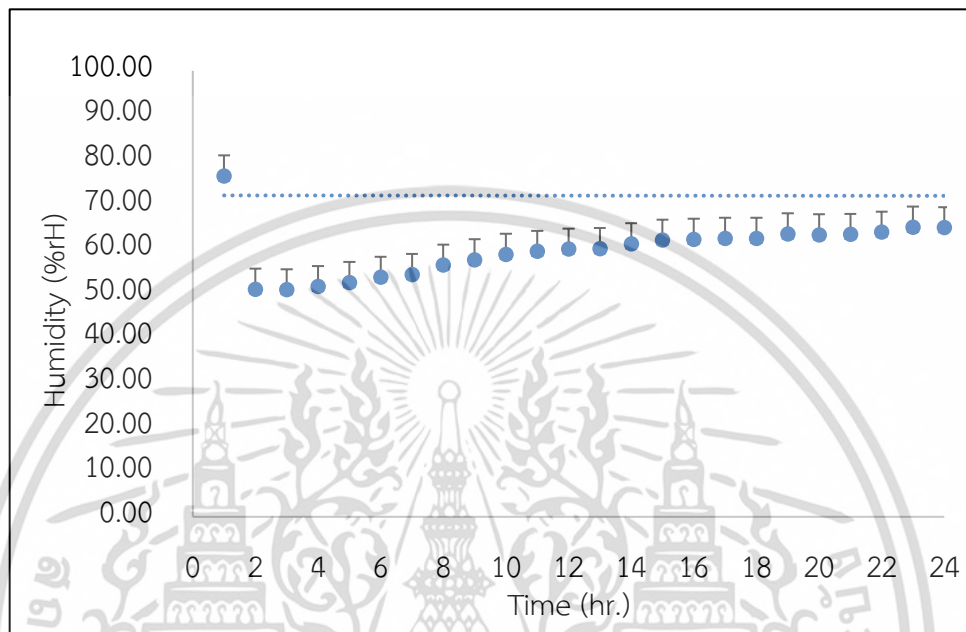
จากทั้ง 2 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์การสอบเทียบจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิและความเข้มที่ได้จากเครื่องควบคุม (STC-3028) และเครื่อง (Digitcon HT-770) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วมีค่าความคาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยถือว่ายอมรับได้ และเมื่อได้ค่าจากเครื่องควบคุม (STC-3028) แล้วค่านั้นจะเป็นค่า  $x$  สามารถหาค่าอุณหภูมิและความเข้มที่แท้จริง ๆ ได้จากสมการ (4.1) และ (4.2) เมื่อคำนวณออกมาแล้วค่า  $y$  จะเป็นค่าอุณหภูมิและความเข้มที่แท้จริง

#### 4.1.2 ผลการหาความเข้มแสงในแต่ละแสงสี

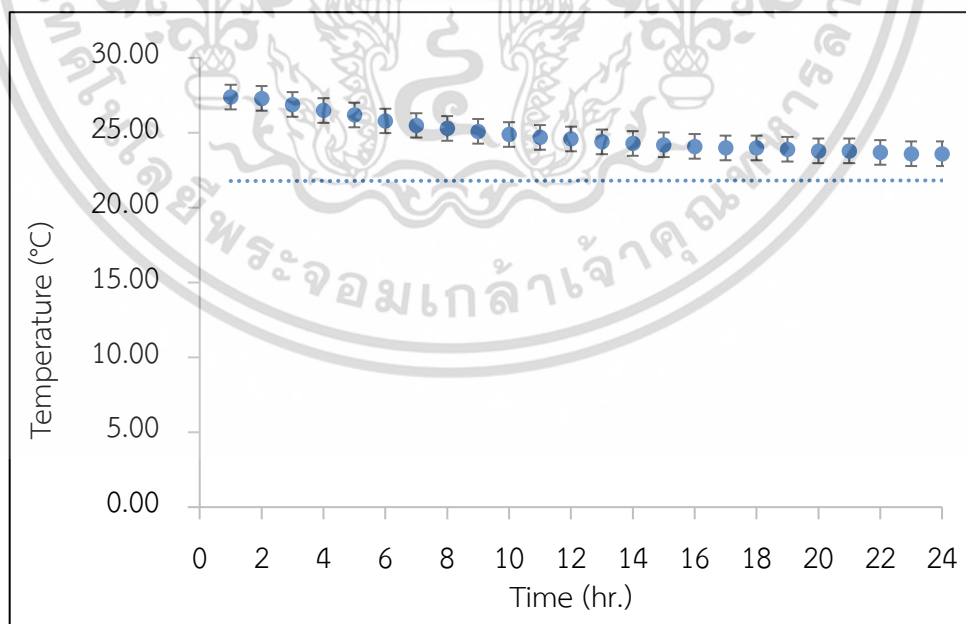
ในการทดลองนี้มีการทดลองกับแสงสีทั้งหมด 4 สี น้ำเงิน แดง ขาว ซึ่งจะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน คือ 450 nm 760 nm 550nm ตามลำดับ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความเข้มแสงในสมการ (3.1) จะได้ค่าความเข้มแสงของสีน้ำเงิน สีแดง สีขาว เป็น  $1.33 \text{ mw/cm}^2$   $0.788 \text{ mw/cm}^2$   $1.088 \text{ mw/cm}^2$  ตามลำดับ เมื่อเอามาปรับหาขนาดของกล่องกับเครื่อง Compact Power and Energy Meter Consoleซึ่งจะใช้วัดความเข้มแสงในการทดลองนี้จากนั้นขยับให้ได้ความเข้มแสงตามที่คำนวณจะได้ขนาดของกล่องควบคุมดังนี้ ความสูง 90 เซนติเมตร ความยาว 85 เซนติเมตร ความกว้าง 75 เซนติเมตร

#### 4.1.3 การตรวจสอบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมขณะทำงาน

ในกล่องควบคุมนี้จะตั้งค่าเครื่องควบคุมให้เริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และความชื้นที่ 50 %rH และหยุดทำงานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นที่ 70 %rH



รูปที่ 4.3 แสดงการตรวจสอบการควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง (STC-3028) ขณะที่เครื่องทำงาน



รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจสอบการควบคุมความชื้นของเครื่อง (STC-3028) ขณะที่เครื่องทำงาน

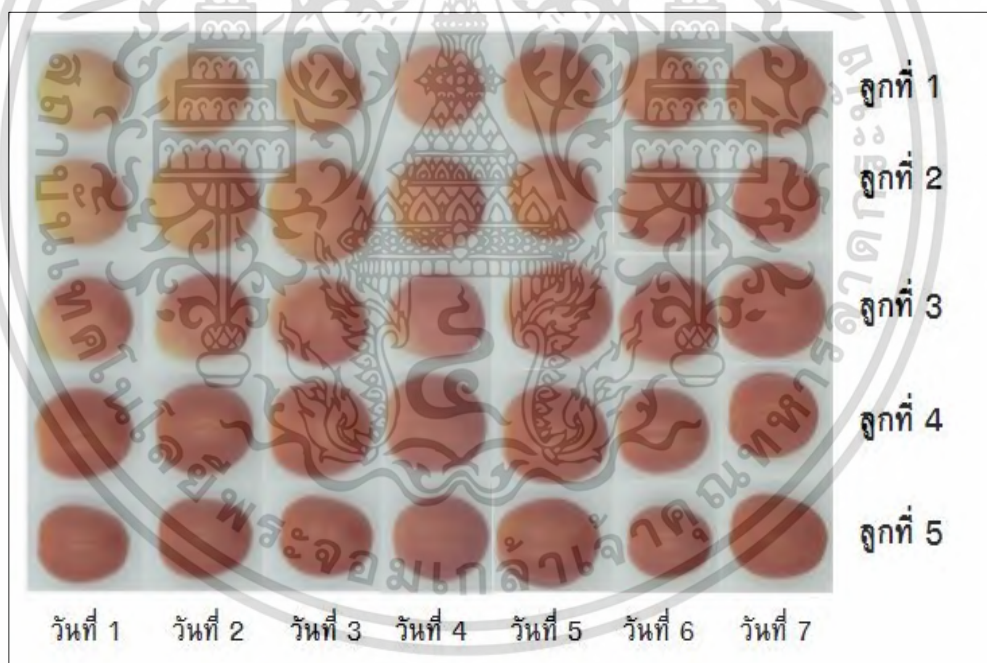
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเครื่องควบคุมทำงานขณะที่เปิดไฟแอลอีดีจากรูปที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิในช่วง 8 ชั่วโมงแรกยังเป็นค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าความต้องการและหลังจากนั้นก็เริ่มสู่ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องควบคุมอยู่ที่ 22.59 องศาเซลเซียส และความชื้นจากรูปที่ 4.4 ช่วง ในช่วง 10 ชั่วโมงแรกยังเป็นค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าความต้องการและหลังจากนั้นก็เริ่มสู่ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยจะมีความชื้นเฉลี่ยภายในกล่องควบคุมได้ 70.13 %rH ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการทดลองให้แสงสีนั้นค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเครื่องควบคุม (STC-3028) อยู่ในค่าที่ต้องการเป็นค่าที่เหมาะสมต่อมะเขือเทศ

## 4.2 ผลการวัดและควบคุมระดับความสุกของมะเขือเทศ

การคัดเลือกมะเขือเทศจะคัดเลือกจากระดับความสุกของมะเขือเทศ โดยเราจะนำมะเขือเทศทั้งหมด 5 ลูก ถ่ายรูปทุกวันเป็นเวลา 7 วัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยตาเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ ทั้ง 2 วิธีแล้วเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการทดลองนี้มากที่สุด

### 4.2.1 การเปรียบเทียบสีของมะเขือเทศกับระยะเวลาที่เปลี่ยนไปด้วยการสังเกต



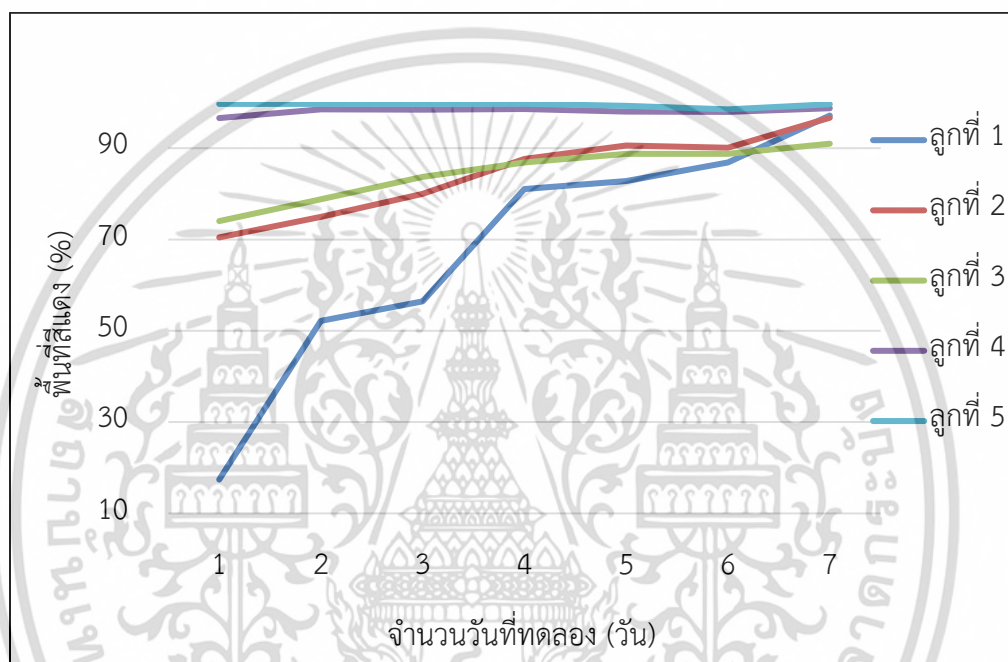
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบสีแดงของมะเขือเทศ 5 ลูก ทั้งหมด 7 วัน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าลูกที่ 1 2 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของสีแดงที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา และเห็นถึงความแตกต่างของเหลืองไปสีแดงมากกว่า ลูกที่ 4 และ 5 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากบอกได้ว่า 2 ลูกนี้อาจจะมีความสุขมาก ๆ แล้ว

#### 4.2.2 ผลของการวัดระดับความสุกของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธีการหาพื้นที่สีแดง

แดง

การคัดเลือกมะเขือเทศจะคัดเลือกจากระดับความสุกของมะเขือเทศโดยจะพิจารณาเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง ซึ่งมะเขือเทศที่มีสีแดงร้อยละ 90 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนั้นจะเป็นระยะหลังจากที่สุกแก่สีเขียวมาแล้ว 10 วัน (ทับทิม, 2551) เมื่อค่าพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม ImageJ เพิ่มขึ้นจะบอกได้ว่ามะเขือเทศมีความสุกมากขึ้น

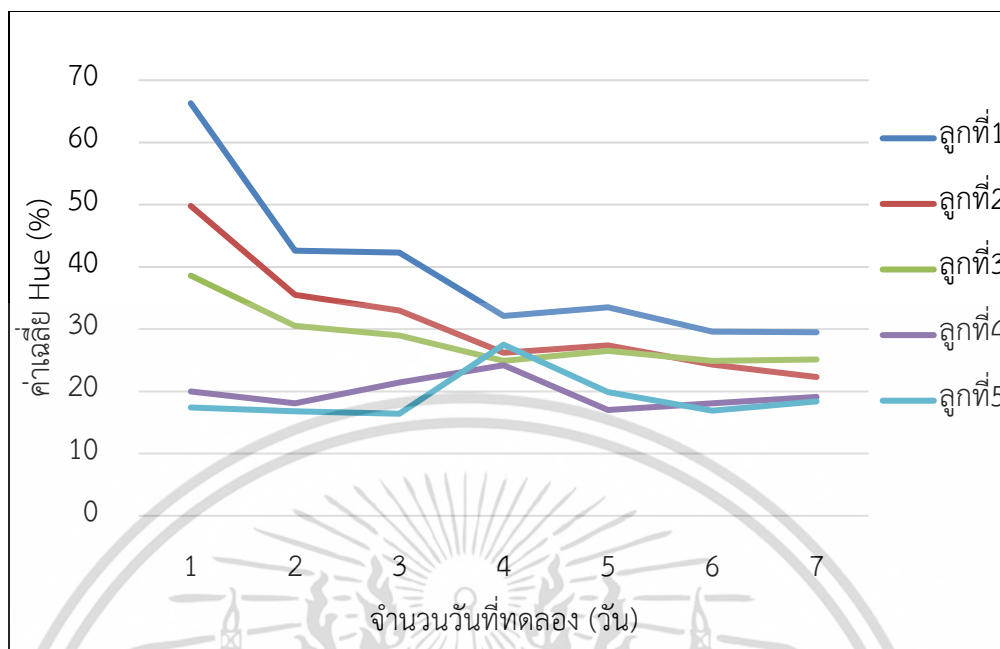


รูปที่ 4.6 แสดงการวัดระดับความสุกของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธีการหาพื้นที่สีแดง

จากกราฟจะเห็นว่า ลูกที่ 1 2 และ 3 นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นคล้ายๆกันแต่ในลูกที่ 4 กับ 5 นั้นมีความคงที่ไม่เพิ่มขึ้นและลดลงซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.5

#### 4.2.3 ผลของการวัดระดับความสุกของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธี HSV

การคัดเลือกมะเขือเทศจะคัดเลือกจากระดับความสุกของมะเขือเทศโดยจะเลือกพิจารณาเฉพาะค่าเฉลี่ย Hue ในระบบ HSV เมื่อค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสีจะเปลี่ยนแปลงไปจะบอกได้ว่าถ้ามีค่าสีแดงมากขึ้นค่าเฉลี่ย Hue จะลดลง



รูปที่ 4.7 แสดงการวัดระดับความสุขของมะเขือเทศโดยโปรแกรม ImageJ ด้วยวิธี HSV

จากกราฟจะพบว่า ในลูกที่ 1 2 3 นั้นมีค่า Hue ที่ลดลงเปลี่ยนไปตามจำนวนเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.5 ที่มองด้วยสายตาเมื่อเวลาผ่านไปจะมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นทำให้ค่า Hue ลดลงซึ่งวิธีนี้มีความเป็นไปได้เช่นเดียวกับวิธีพื้นที่สีแดงเพราะสามารถบอกความสุขได้ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ไม่สามารถระบุระดับความสุขได้

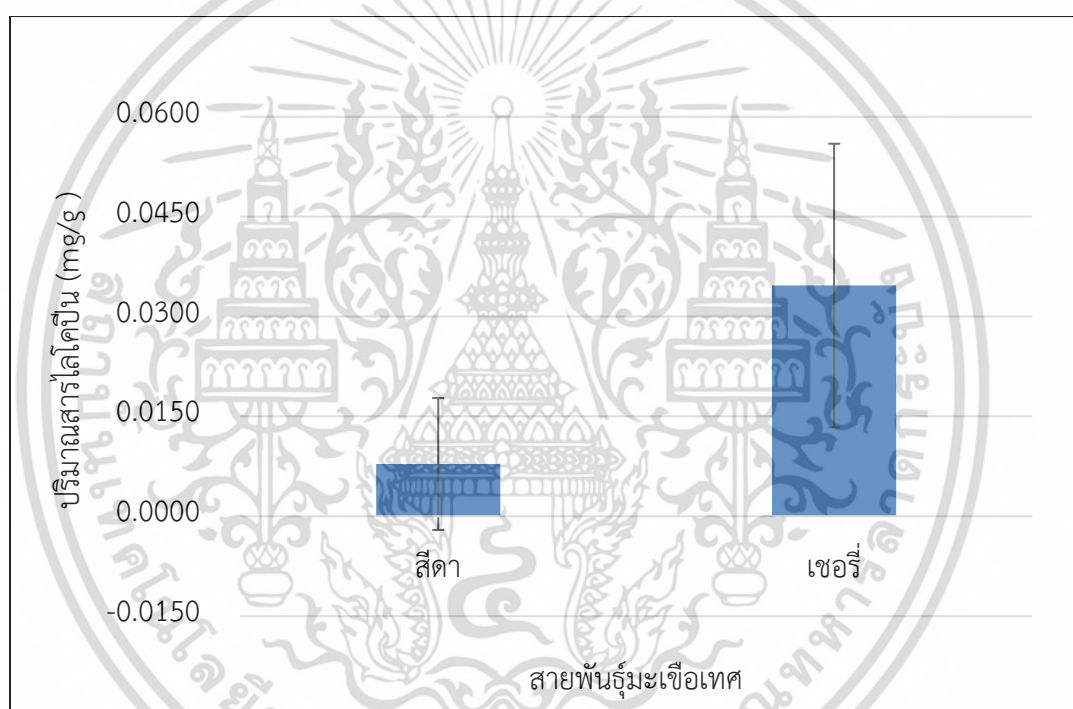
#### 4.2.4 การเลือกวิธีการวัดความสุขมาใช้ในการทดลอง

การคัดเลือกมะเขือเทศจะคัดเลือกจากระดับความสุขของมะเขือเทศมีจุดประสงค์เพื่อโดยจะพิจารณาพื้นที่สีแดงที่ผลของมะเขือเทศ เพื่อควบคุมความสุขของมะเขือเทศให้เท่ากันทุกการทดลอง จากทั้ง 2 วิธีนี้จะเห็นได้ว่าจะสามารถความสุขของมะเขือเทศได้และทั้ง 2 วิธีนี้มีค่าที่ไปในทิศทางเดียวกันแต่จะแตกต่างกันตรงที่วิธีวัดระดับความสุขด้วย HSV ไม่สามารถระบุระดับความสุขได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกวิธีวัดความสุขด้วยพื้นที่สีแดงและเพื่อกำหนดให้ทุกลูกในการทดลองเท่ากันจึงคัดเลือกให้มีพื้นที่ร้อยละ 90 - 98 เพื่อไม่ให้มีความสุขมากเกินไปเพราะการทดลองนั้นต้องระยะเวลาอาจเกิดการเน่าเสียได้

### 4.3 ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นของมะเขือเทศสีดาเปรียบเทียบกับมะเขือเทศราชินี

#### 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้น

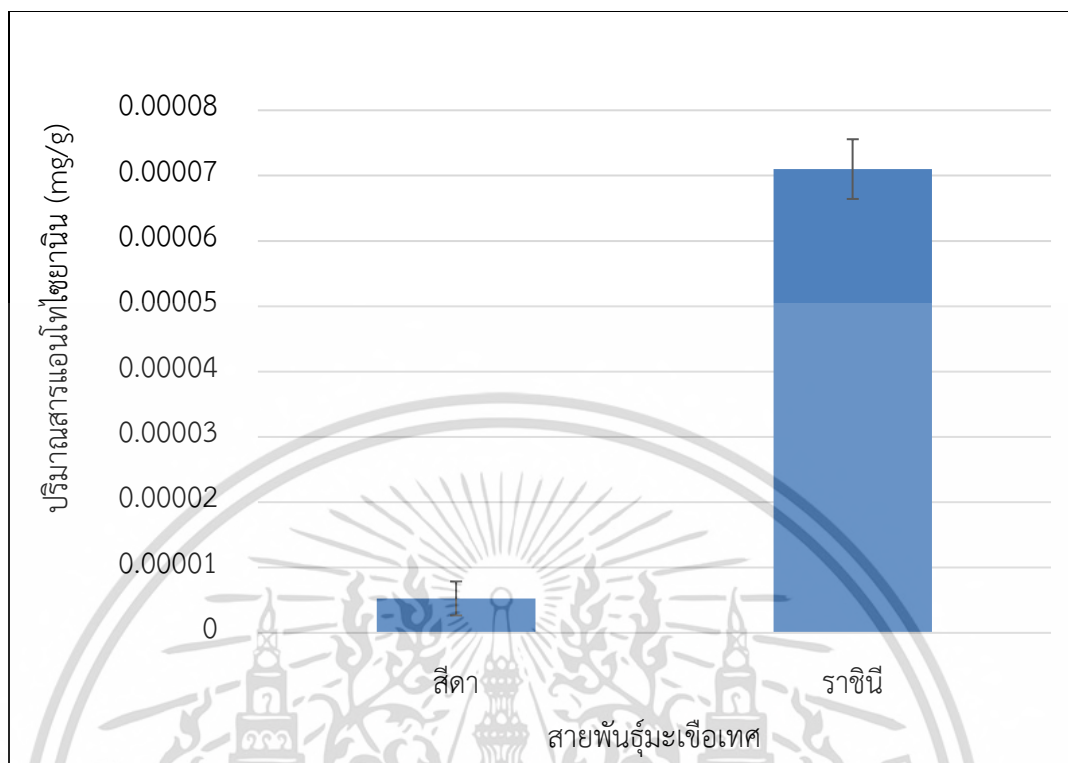
เมื่อได้มะเขือเทศที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วจะนำไปวัดปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นก่อนตามวิธีที่ 2.3.1 ได้ปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นของมะเขือเทศสีดาเท่ากับ 0.0079 mg/g และมะเขือเทศราชินีเท่ากับ 0.0347 mg/g (ดังรูปที่ 4.8) จะเห็นได้ว่ามะเขือเทศราชินีมีปริมาณไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศสีดาอยู่ 4.39 เท่า จากนั้นนำมะเขือเทศสีดาไปให้แสงสีน้ำเงินซึ่งเป็นแสงสีที่คาดว่าจะสามารถกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระในพืชให้เพิ่มขึ้นได้ (Shiga et al., 2009; Shao et al., 2015)



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณไลโคปีนเริ่มต้นระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดากับราชินี  
จำนวนสายพันธุ์ละ 10 ลูก

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้น

เมื่อได้มะเขือเทศที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้ว จะนำไปวัดปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นทั้งหมด 10 ลูกตามวิธีที่ 3.4.2 ได้ปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นของมะเขือเทศสีดาเท่ากับ 0.00000526 mg/g และมะเขือเทศราชินีเท่ากับ 0.0000715 mg/g



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณแอนโทไซยานินเริ่มต้นระหว่างมะเขือเทศสายพันธุ์สีดากับราชินี จำนวนสายพันธุ์ละ 10 ลูก

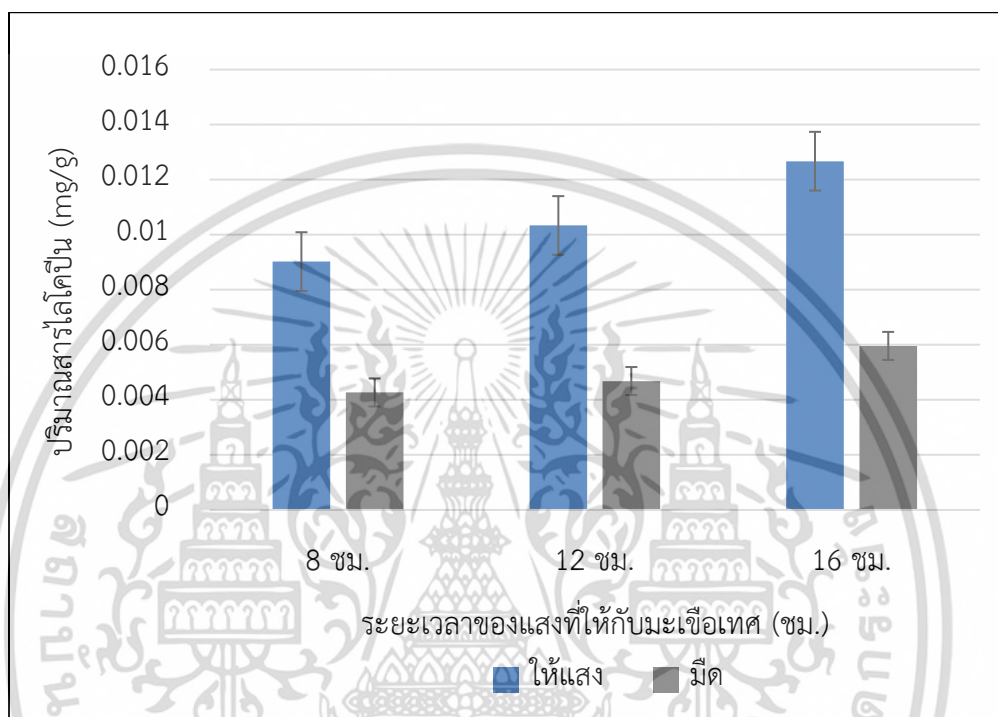
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่ามะเขือเทศราชินีมีค่าแอนโทไซยานินที่สูงมากและมากกว่ามะเขือเทศสีดาอยู่ 45.2 เท่า ซึ่งมีปริมาณที่ห่างกันมาก อาจขึ้นอยู่กับสีที่เข้มกว่าของพันธุ์ราชินี เนื่องจากแอนโทไซยานินพบได้ในพืชเกือบทุกชนิดแต่น้อยมากในพืชที่มีสีเขียว แต่ผลไม้ที่มีสีเข้มจัดจะมีแอนโทไซยานินอยู่สูงและมากขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของสีในผลไม้ (บริษัทแซท ฟอร์ เฮลท์ จำกัด: ระบบออนไลน์, 2555) จากนั้นนำมะเขือเทศสีดาไปให้แสงสีน้ำเงินซึ่งเป็นแสงสีที่คาดว่าจะสามารถกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระในพืชให้เพิ่มขึ้นได้ (Shiga et al., 2009; Shao et al., 2015)

#### 4.4 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศ

##### 4.4.1 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารไลโคปีน

นำสารสกัดที่ได้จากการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดไปวัดปริมาณสารไลโคปีน พบว่าปริมาณสารไลโคปีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งในสภาวะที่ให้แสงสีน้ำเงิน และในสภาวะที่มีมืด และเพิ่มขึ้นมากที่สุดจากการให้แสงสีน้ำเงินในระยะเวลา 16 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นน้อยลงในระยะเวลา 12 ชั่วโมง

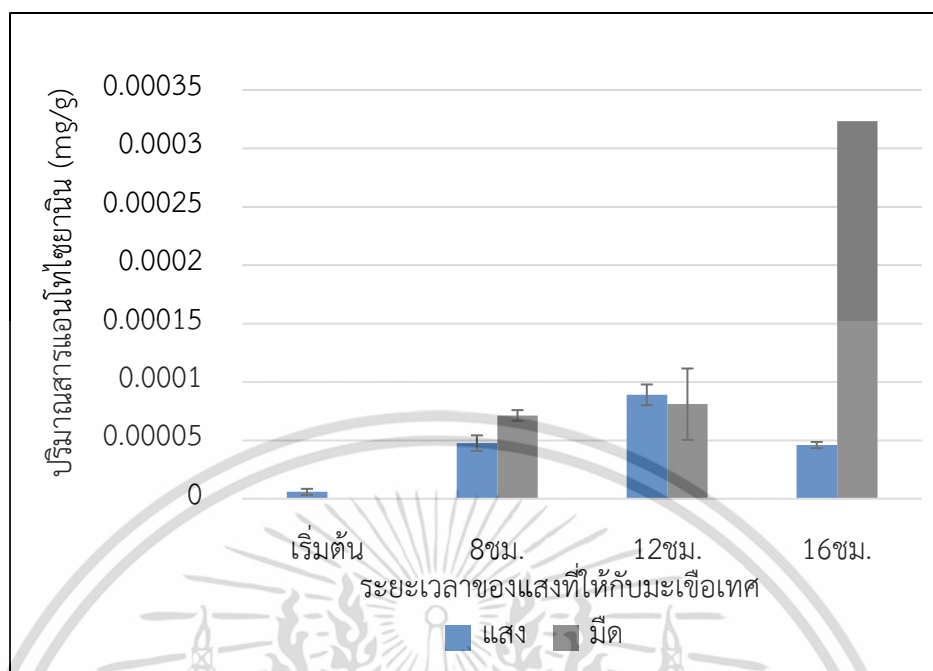
และเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดในระยะเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารไลโคปีนเท่ากับ 0.013, 0.010, และ 0.009 mg/g ตามลำดับ ในทางเดียวกันกับสภาวะมืด ปริมาณสารไลโคปีนจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดในระยะเวลา 16 ชั่วโมง และน้อยลงในระยะเวลา 12 ชั่วโมง และน้อยที่สุดในระยะเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารไลโคปีนเท่ากับ 0.006, 0.005 และ 0.004 mg/g ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารไลโคปีน

#### 4.4.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารแอนโทไซยานิน

เมื่อนำมะเขือเทศไปให้แสงสีน้ำเงินในช่วงเวลาที่ต่างกันคือ 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 16 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนโทไซยานิน 3 ชั่วโมงได้ค่าดังนี้ ที่ 8 ชั่วโมงในที่ให้แสงสีเท่ากับ 0.00000477 (mg/g) ในที่ไม่มีแสงเท่ากับ 0.00000713 (mg/g) 12 ชั่วโมงในที่ให้แสงสีเท่ากับ 0.000089 (mg/g) ในที่ไม่มีแสงเท่ากับ 0.000081 (mg/g) 16 ชั่วโมงในที่ให้แสงสีเท่ากับ 0.000046 (mg/g) ในที่ไม่มีแสงเท่ากับ 0.000323 (mg/g)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารแอนโทไซยานิน

จากรูปที่ 4.11 ในสถานะที่ให้แสงสีมีค่าแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในช่วง 8 และ 12 ชั่วโมง และลดลงที่ 16 ชั่วโมง และในสถานะที่มืดในช่วง 16 ชั่วโมง มีการเพิ่มขึ้นของสารแอนโทไซยานินอยู่มากและมากกว่าในสถานะที่ให้แสงสีในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง (เป็นช่วงเวลาที่มีการเพิ่มปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดในการให้แสง) ถึง 3.6 เท่า ดังนั้นการให้แสงสีกับมะเขือเทศอาจมีผลเล็กน้อยที่ทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นได้จึงไม่เลือกทำการทดลองให้แสงเทียมเพื่อเพิ่มสารแอนโทไซยานินต่อ

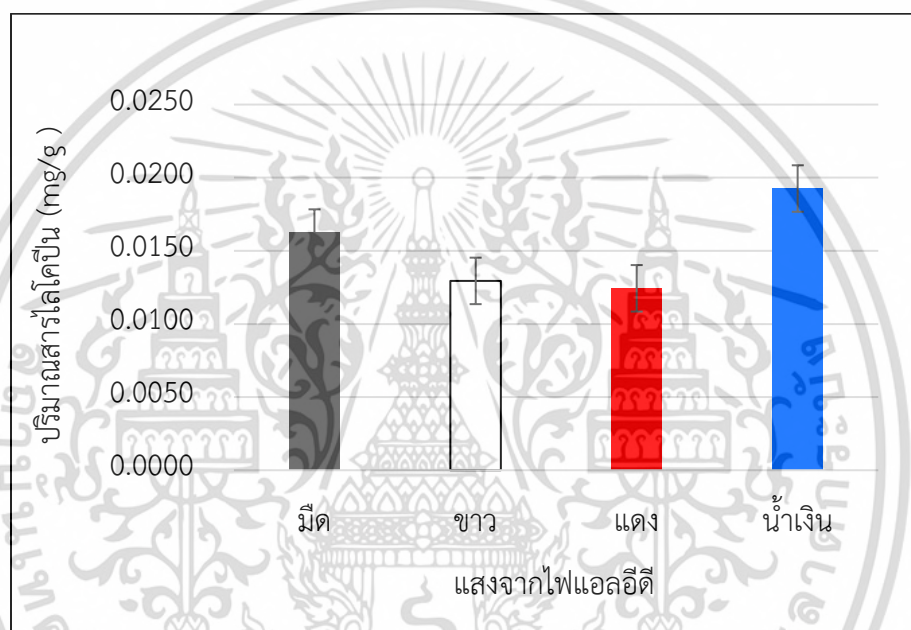
#### 4.5 ผลการศึกษาแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ

##### 4.5.1 ผลการศึกษาแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศ

นำสารสกัดที่ได้จากการให้แสงไฟแอลอีดีต่าง ๆ ไปวัดปริมาณสารไลโคปีน พบว่าปริมาณสารไลโคปีนเพิ่มขึ้นมากที่สุดจากการให้แสงไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน และเพิ่มขึ้นน้อยลงในสถานะมืด ในการให้แสงไฟแอลอีดีสีขาว และเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเนื่องจากแคโรทีนอยเป็นสารสีเสริมที่ช่วงดูดกลืนแสงในคลื่นความยาวที่มีความเข้มแสงสูงแต่แสงสีขาวอาจความเข้มแสงของช่วงคลื่นความยาวที่น้อยกว่าที่แคโรทีนอยจะจึงดูดกลืนได้ไลโคปีนจึงเพิ่มขึ้นน้อยตามไปด้วย ในการให้แสงไฟแอลอีดีสีแดง มีปริมาณไลโคปีนเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0193, 0.0162, 0.0129 และ 0.0124 mg/g ตามลำดับ ดังนั้นแสงสีน้ำเงินมีผลทำให้สารไลโคปีนเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากไลโคปีนเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลได้ (UV-Vis) และจะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 420-503 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน และจะดูดกลืนแสงสีอื่น ๆ น้อยลงในช่วง 503 นาโนเมตรเป็นต้นไป (ธนวรรณ, 2556) จึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศได้ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องและสนับสนุนกับงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าแสงเทียมสีน้ำเงินและสีแดงสามารถช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์แสงของพืชได้ (วิจิตร และคณะ, 2562)



รูปที่ 4.12 แสดงการศึกษาผลของแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดา ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่พิจารณาจะมีสารแอนโทไซยานินและไลโคปีน จากการที่ได้ทดลองหาช่วงเวลาในการให้แสงสีฟ้าว่าเมื่อให้แสงสีแล้วปริมาณของสารแอนโทไซยานินนั้นเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง และเมื่อเวลาผ่านไปมีค่าลดลงในขณะที่สภาวะไม่มีแสงสีเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นแสงสีน้ำเงินจึงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินเฉพาะช่วงเวลาหนึ่งคือ 12 ชั่วโมงแต่ก็ยังเพิ่มขึ้นน้อยกว่าในสภาวะไม่มีแสงจึงสรุปได้ว่าการให้แสงสีนั้นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณของสารแอนโทไซยานิน

การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการให้แสงกับมะเขือเทศของสารไลโคปีน ที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้แก่ 8 12 และ 16 ชั่วโมง ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 16 ชั่วโมง และการศึกษาผลของแสงจากไฟแอลอีดีที่มีสีต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ ได้แก่ ในสภาวะมีไฟแอลอีดีสีขาวไฟแอลอีดีสีแดง และไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน ได้ค่าปริมาณสารไลโคปีน 0.0038, 0.0022, 0.0021 และ 0.0047 mg/g ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการให้แสงไฟแอลอีดีสีน้ำเงินนั้นช่วยเพิ่มปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาได้มากที่สุด และยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่มะเขือเทศสายพันธุ์สีดาได้อีกด้วย ดังนั้นระยะเวลา 16 ชั่วโมง และการให้แสงไฟแอลอีดีสีน้ำเงิน เป็นการช่วยเพิ่มปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศสายพันธุ์สีดาได้ดีที่สุด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มจำนวนมะเขือเทศที่ให้แสงสีมากขึ้น เนื่องจากการทดลองใช้ระยะเวลาสั้นสำหรับมะเขือเทศที่สุก เพื่อสำรองไว้สำหรับลูกที่มีการเนาเสียระหว่างการทดลอง
2. การแช่แข็งในช่วงระหว่างที่รอวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระควรใช้อุณหภูมิที่ -80 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดการเจริญเติบโตต่าง ๆ ที่ทำให้มีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ
3. ควรใช้มะเขือเทศล็อตเดียวกันทั้งหมดเพื่อควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ

## บรรณานุกรม

- กรวิทย์ กระจ่างพันธ์ และคณะ. 2561. “การออกแบบแสงด้วยหลอดแอลอีดีส่องสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน.” กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- กัญตนา หลอดทองกลาง และคณะ. 2563. “การให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำที่ปลูกในโรงเรือน.” กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- กาญจนา นาคประสม และคณะ. 2560. “สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง.” เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- กานดาวดี โนชัย และคณะ. 2555. “การผลิตไลโคปีนผงจากมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารเพื่อสุขภาพ.” ลำปาง: วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- กานดาวดี โนชัย และ จิรภา พงษ์จันทา. 2556. “ผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดไลโคปีนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง.” ลำปาง: วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- เกียรติสุดา เหลืองวิสัย และ ชีร์ หะวานนท์. 2562. “ผลของเวลาเก็บเกี่ยวและฤดูกาลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระปริมาณแอนโทไซยานินและสารฟีนอลิกทั้งหมดในดอกอัญชัน.” นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- ชานนท์ ลากิจิตร. 2560. “ผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงิน ต่อการเจริญเติบโตของผักบุงเงินที่ปลูกในระบบอะควาโพนิกส์.” สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทับทิม ม่วงทุ่ง. 2551. การผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศพันธุ์ดอยคำ. เชียงใหม่: สำนักงานมหาบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ธนวรรณ ศรีสกุลดิศ. 2556. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดสารไลโคปีนจากผักขาวด้วยตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.” กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- ปณัญฉิรา แห่งหิน. 2559. “ผลของแคดเมียมต่อปริมาณซิลิกอน รงควัตถุ ระดับเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและการสร้างโปรตีนไฟโตเคโรตินในข้าวไรซ์เบอร์รี่.” นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร
- จิตรา จันอุทัย และคณะ. 2562. “ผลกระทบของแสงเทียมต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการเจริญเติบโตในพืชสกุล *Ocimum* ที่พบในไทย.” กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ภขมน พิษญาจิตติพงษ์. 2556. “การผลิตและสมบัติทางชีวภาพของสีผสมอาหารจากเปลือกแก้วมังกรพันธุ์เนื้อผลสีแดง (*Hylocercus polyrhizus*).” นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยุวดี ทริมเจริญ. 2557. “การพัฒนาการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำสำหรับการผลิตมะเขือเทศในระบบน้ำหยด.”  
นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ศุภชาติ ธรรมนิติเวทย์. 2562. “การสกัดสารสีจากใบพืชสำหรับใช้ในการศึกษาทางสรีรวิทยาของพืช.”  
พิษณุโลก: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2
- สินีนางู ภูมิศรี และ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย. 2558. “การหาปริมาณแอนโทไซยานินและผลของไอออนอะลูมิเนียมต่อเสถียรภาพของน้ำเฝ้า.” ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สุภาพร พักเงิน และ ศิริประภา มีรอด. 2560. “การสกัดแยกหาปริมาณแอนโทไซยานินจากลูกมะม่วงหาว มะนาวโห่.” กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
- อรุษา เขาวนลิขิต. 2554. “การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน.” นครนายก: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- Binoy, G., Charanjit, K., Khurdiya, D.S., Kapoor, H.C. 2004. “Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype.” **Journal of Food Chemistry**, pp. 45–51.
- Kim, J.Y., Paik, J.K., Kim, O.Y., Park, H.P., Lee, J.H., Jang, Y., Lee, J.H. 2011. “Effects of lycopene supplementation on oxidative stress and markers of endothelial function in healthy men.” **Atherosclerosis Journal**, pp. 189–195.
- Nagata, M. and Yamashita, I. 1992. “Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit,” **J. Jap. Soc. Food Sci. Technol**, pp. 925-926.
- Riadh, L., Chafik, H., Marcello, S. L., Imen, T., and Giuseppe D. 2011. “Antioxidant activity and bioactive compound changes during Fruit ripening of high lycopene tomato cultivars.” **Journal of Food Composition and Analysis**, pp. 588–595.
- Stahl, W., and Sies, H. 1996. “Perspective in Biochemistry and Biophysics., Lycopene: a Biologically Important Carotenoid for Humans,” **Journal of Biochemistry Biophysics**, pp. 1-9.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก. กล่องควบคุม

### 1. การสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมในกล่อง

#### 1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องควบคุม (TC-3028)
2. เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิ (Digitcon HT-770)

#### 1.2 วิธีการทดลอง

1. สร้างสภาวะในการมา 5 สภาวะโดยค่าอุณหภูมิตั้งนี้ 20 30 40 50 60 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นตั้งนี้ 60 70 80 90 100 %rH
2. นำเครื่องมือทั้งสองมาวัดทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาทีได้ค่าดังนี้

ตารางที่ ก.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770

	ช่วงอุณหภูมิ	เครื่อง Digitcon HT-770	เครื่อง STC-3028
	20	20.43	21.9
		20.42	21.8
		20.42	21.8
		20.3	21.7
		20.28	21.6
		20.22	21.5
		20.17	21.4
		20.13	21.4
		20.12	21.4
		20.09	21.3
ค่าเฉลี่ย		20.26	21.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770 (ต่อ)

	ช่วงอุณหภูมิ	เครื่อง Digitcon HT-770	เครื่อง STC-3028
	30	31.39	29.5
		31.38	29.5
		31.35	29.5
		31.25	29.4
		31.27	29.4
		31.19	29.3
		31.14	29.3
		31.07	29.3
		31.03	29.2
		30.98	29.2
ค่าเฉลี่ย		31.205	29.36
	40	40.17	41
		40.15	40.9
		40.12	40.9
		40.09	40.9
		40.09	40.8
		40.08	40.8
		40.06	40.8
		40.06	40.7
		40.03	40.7
		40.02	40.6
ค่าเฉลี่ย		40.08	40.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงการสอบเทียบอุณหภูมิของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770 (ต่อ)

	ช่วงอุณหภูมิ	เครื่อง Digitcon HT-770	เครื่อง STC-3028
	50	51.26	49
		51.25	48.9
		51.25	48.9
		51.25	48.9
		51.24	48.9
		51.24	48.8
		51.23	48.8
		51.21	48.7
		51.2	48.7
ค่าเฉลี่ย		51.236	48.84
	60	60	57.9
		59.98	57.9
		59.97	57.8
		59.94	57.7
		59.92	57.6
		59.88	57.5
		59.89	57.6
		59.87	57.5
		59.86	57.4
		59.85	57.3
ค่าเฉลี่ย		59.916	57.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงการสอบเทียบความชื้นของเครื่อง STC-3028 และเครื่อง Digitcon HT-770

HT-770					
นาทีย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
1	46.88	56.34	62.22	76.23	85.98
2	47.53	56.67	62.52	76.99	86.52
3	46.98	56.9	62.76	76.76	86.34
4	47.43	57.23	63.01	76.23	85.79
5	47.72	56.72	62.98	76.45	86.13
ค่าเฉลี่ย	47.31	56.77	62.70	76.53	86.15
S.D.	0.362174	0.326297	0.331994	0.335738	0.288045
STC-3028					
นาทีย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
1	67.5	73.3	84.1	95.4	100
2	67.7	73	84.6	95.7	100
3	68.1	72.6	84.3	95.5	100
4	67.9	72.8	84.2	95.6	100
5	68.3	73.1	84.4	95.9	100
ค่าเฉลี่ย	67.9	72.96	84.32	95.62	100
S.D.	0.316228	0.270185	0.192354	0.192354	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

### การวิเคราะห์การคัดเลือกมะเขือเทศ

#### 1. การทำกล่องถ่ายรูป

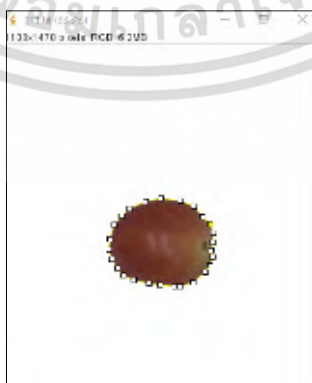


รูปที่ ข.1 แสดงกล่องถ่ายรูป

#### 2. วิธีวัดระดับความสุกด้วยพื้นที่สีแดง

นำมะเขือเทศไปถ่ายรูปด้วยโทรศัพท์มือถือ (iPhone X) ใช้แอปพลิเคชัน Adobe Lightroom CC ตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมือนกันทุกลูกถ่ายลูกละ 3 ด้าน (ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านล่าง) แล้วนำมาวิเคราะห์ระดับความสุกด้วยโปรแกรม ImageJ มีวิธีดังนี้

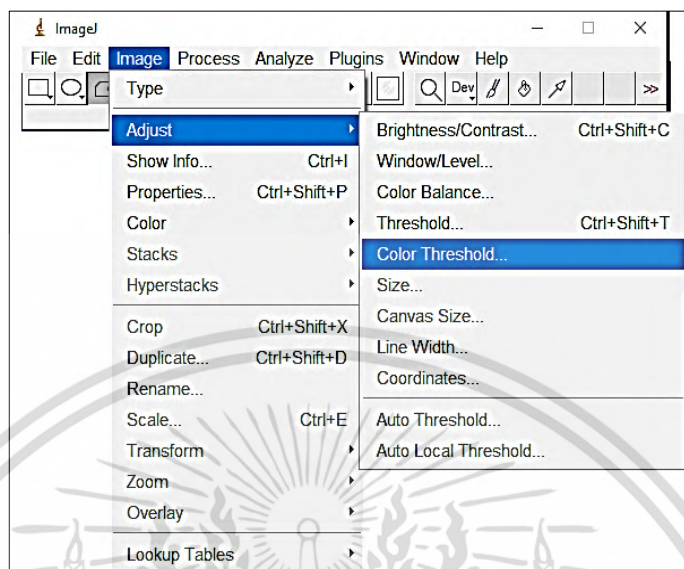
1. ตัดมะเขือเทศแล้ววัดพื้นที่ทั้งหมดจดบันทึก



รูปที่ ข.2 ตัดมะเขือเทศในโปรแกรม ImageJ

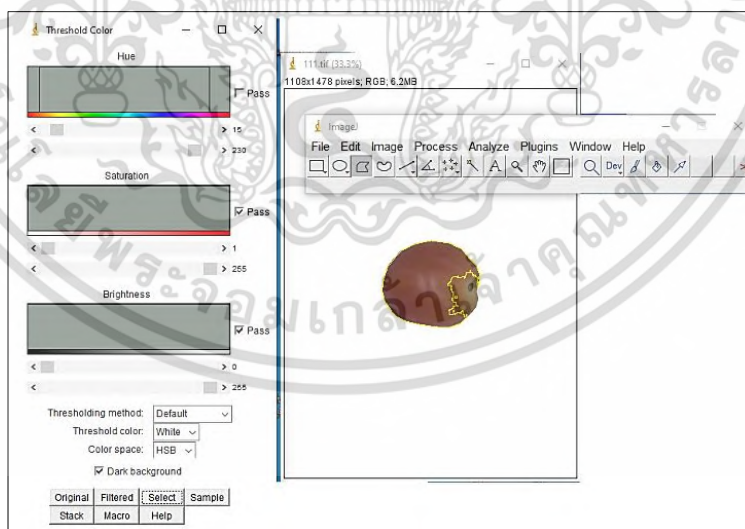
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เลือกอุปกรณ์เพื่อวัดพื้นที่ที่มีสีแดง



รูปที่ ข.3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดพื้นที่สีแดงในโปรแกรม ImageJ

3. จากนั้นจะมีหน้าต่าง Threshold Color ขึ้นมาแล้วกำหนดค่า Hue ให้อยู่ระหว่าง 15-230 ไม่ให้ช่วงนี้ผ่านค่า Saturation ให้อยู่ระหว่าง 1-255 ให้ช่วงนี้ผ่าน ค่า Brightness ให้อยู่ระหว่าง 0-255 ให้ช่วงนี้ผ่าน แล้วกด Select จากนั้นวัดพื้นที่สีแดงที่ผ่านเกณฑ์ และคำนวณหาค่าพื้นที่ร้อยละสีแดงของมะเขือเทศลูกนั้น ๆ ตามสมการที่ (3.2)



รูปที่ ข.4 หน้าต่าง Threshold Color ในโปรแกรม ImageJ

$$\text{การคำนวณพื้นที่ร้อยละ} = \left( \frac{\text{พื้นที่ที่ให้สีผ่าน}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าพื้นที่สี่เหลี่ยมจำนวน 7 วัน

วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน	No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน	No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน
1	17.41398955	1	56.47437033	1	56.47437033
2	70.45791957	2	80.03710976	2	80.03710976
3	74.03293941	3	83.69524356	3	83.69524356
4	96.59658613	4	98.46590818	4	98.46590818
5	99.70222689	5	99.72629229	5	99.72629229
	71.64073231		83.67978482		83.67978482
วันที่ 4		วันที่ 5		วันที่ 6	
No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน	No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน	No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน
1	81.06617831	1	82.79816514	1	86.88568633
2	87.6581997	2	90.6097561	2	90.09672374
3	86.89372978	3	88.75055897	3	88.77839559
4	98.56949577	4	98.04262687	4	97.94616411
5	99.72862286	5	99.29597493	5	98.50218543
	90.78324528		91.8994164		92.44183104
วันที่ 7					
No.	พื้นที่ที่สี่ผ่าน				
1	97.1546283				
2	96.66904973				
3	90.98120148				
4	98.75186113				
5	99.59771778				
	96.63089169				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าเฉลี่ยพื้นที่สีแดงจำนวน 7 วัน

วันที่/ลูกที่	1	2	3	4	5	6	7	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	17.41	52.19	56.47	81.07	82.80	86.89	97.15	67.71	27.50
2	70.46	74.98	80.04	87.66	90.61	90.10	96.67	84.36	9.44
3	74.03	78.82	83.70	86.89	88.75	88.78	90.98	84.56	6.14
4	96.60	98.50	98.47	98.57	98.04	97.95	98.75	98.13	0.73
5	99.70	99.72	99.73	99.73	99.30	98.50	99.60	99.47	0.45

ตัวอย่างลูกที่ผ่านการคัดเลือกด้วยวิธีพื้นที่สีแดง

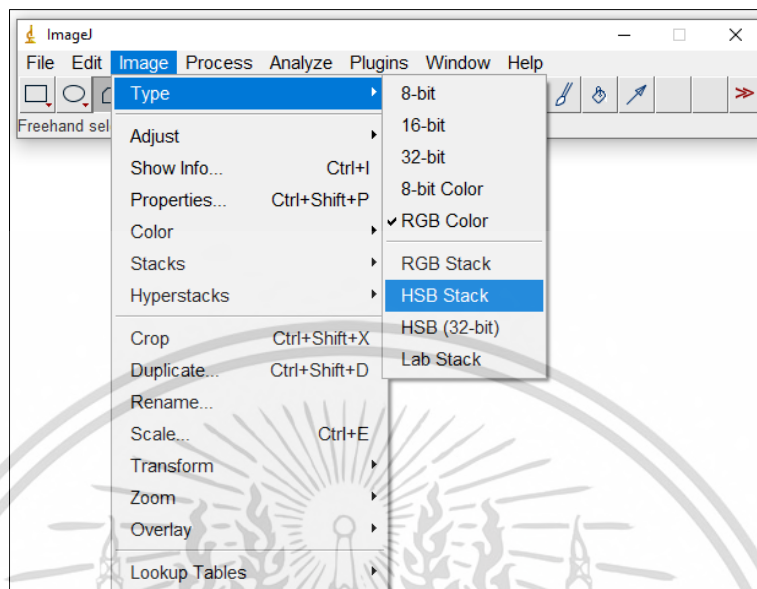


รูปที่ ข.5 แสดงลูกที่ผ่านการคัดเลือก

## 2. วิธีวัดระดับความสุกด้วย HSV

นำมะเขือเทศไปถ่ายรูปด้วยโทรศัพท์มือถือ (iPhone X) ใช้แอปพลิเคชัน Adobe Lightroom CC ตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมือนกันทุกลูกถ่ายลูกละ 3 ด้าน (ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านล่าง) แล้วนำมาวิเคราะห์ระดับความสุกด้วยโปรแกรม ImageJ มีวิธีดังนี้

## 1. นำรูปมะเขือเทศมาเปลี่ยนให้อยู่ในระบบ HSB



รูปที่ ข.6 การเปลี่ยนให้อยู่ใน HSB

## 2. ทำการแยก Stacks แล้วเลือกเฉพาะหน้าต่าง Hue มาวัดพื้นที่ส่วนของมะเขือเทศแล้วนำไปเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีมะเขือเทศ



รูปที่ ข.7 วัดค่าพื้นที่ที่อยู่ในหน้าต่าง Hue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าเฉลี่ย Hue

วัน	ลูกที่ 1	ลูกที่ 2	ลูกที่ 3	ลูกที่ 4	ลูกที่ 5
1	21.9	16.9	17.2	4.8	5.3
	23	18	10.8	7.6	6.2
	21.4	14.9	10.6	7.6	5.9
2	12.1	8.8	7.5	4.3	6
	14.2	13.8	14.3	7.5	6
	16.3	12.9	8.7	6.3	4.8
3	10.9	8.2	7.1	7.7	6.1
	15.7	11.9	8.3	6.9	5.5
	15.7	12.9	13.6	6.8	6.6
4	8.4	5.8	5.2	8.5	6.7
	12.9	10.6	12.5	11.8	7.7
	10.8	9.8	7.2	3.9	13.1
5	12.2	6.8	7.2	4.1	7.5
	12.2	10.8	12.5	6.7	7
	9.1	9.8	6.8	6.2	5.4
6	8.6	9.4	6.5	6.7	4.9
	9.8	8.6	6	6.8	6.2
	11.2	6.3	12.4	4.6	5.8
7	8.1	6.2	6.9	6.8	5.7
	10.3	7.3	6.5	7.3	6.8
	11.1	8.8	11.7	5	5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างลูกที่ผ่านการคัดเลือก



รูปที่ ข.8 แสดงลูกที่ผ่านการคัดเลือก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

## การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

## 1. การวิเคราะห์ไลโคปีนเริ่มต้น

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าการวัดปริมาณสารไลโคปีนเริ่มต้นระหว่าง 2 สายพันธุ์

ชนิดมะเขือเทศ	ปริมาณสารไลโคปีน
สีดา	0.0138
	0.0070
	0.0041
	0.0217
	0.0287
	0.2443
	0.1727
	0.0201
	0.0166
	0.0071
ราชินี	0.1887
	0.3353
	0.0236
	0.0233
	0.0229
	0.0582
	0.2123
	0.0547
0.1740	
0.1072	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การวิเคราะห์สารแอนโทไซยานินเริ่มต้น

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าการวัดปริมาณสารแอนโทไซยานินเริ่มต้นระหว่าง 2 สายพันธุ์

ชนิดมะเขือเทศ	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน
สีดา	0.000031
	0.000028
	0.000024
	0.000054
	0.000081
	0.000033
	0.000091
	0.000082
	0.000005
	0.000068
ราชินี	0.000073
	0.000069
	0.000076
	0.000073
	0.000075
	0.000067
	0.000078
	0.000065
0.000066	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

## การหาช่วงระยะเวลาและแสงที่เหมาะสม

## 1. การหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสารไลโคปีน

ตารางที่ ง.1 แสดงปริมาณสารไลโคปีนในแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ให้แสง	แสง	มืด
8	0.0064	0.0074
	0.0106	0.0014
	0.0100	0.0039
12	0.0042	0.0067
	0.0151	0.0047
	0.0117	0.0026
16	0.0089	0.0068
	0.0013	0.0063
	0.0278	0.0048

## 2. การหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสารแอนโทไซยานิน

ตารางที่ ง.2 แสดงปริมาณสารแอนโทไซยานินในแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ให้แสง	แสง	มืด
8	0.000042	0.000074
	0.000046	0.000072
	0.000055	0.000068
12	0.000099	0.000082
	0.000086	0.000076
	0.000082	0.000085
16	0.000047	0.000033
	0.000048	0.000029
	0.000043	0.000035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสารไลโคปีน

ตารางที่ ง.3 แสดงปริมาณสารไลโคปีนในแต่ละแสงสี

แสงสี	น้ำหนัก(g)	A <sub>503</sub>	ปริมาณไลโคปีน
มืด	34.36	0.015	0.0136
	31.70	0.014	0.0138
	33.62	0.023	0.0213
ขาว	28.89	0.011	0.0119
	28.95	0.013	0.0140
แดง	30.10	0.012	0.0124
น้ำเงิน	33.54	0.025	0.0233
	30.46	0.015	0.0154
	35.82	0.022	0.0192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้