

สารเคลือบผิวนาโนอิมัลชันจากสารสกัดลิโมนีน

WAX COATING NANOEMULSION FROM LIMONENE EXTRACT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WAX COATING NANOEMULSION FROM LIMONENE EXTRACT



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

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ สารเคลือบผิวนาโนอิมัลชันจากสารสกัดลิโมนีน
Special Project Wax Coating Nanoemulsion from Limonene Extract
นักศึกษา นางสาวอดิพร หทัยรัตน์
รหัสนักศึกษา 58110065
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ. 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ดารินี พรหมโยธิน ดร.ศุภมาส วิรุณจิตร์ ผศ.ดร.สุชี ชูดีไพจิตร	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	สารเคลือบผิวนาโนอิมัลชันจากสารสกัดลิโมนีน
นักศึกษา	อติพร หทัยรัตน์
รหัสนักศึกษา	58110065
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน

บทคัดย่อ

โครงการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมนาโนอิมัลชันของสารเคลือบผิวผักและผลไม้ ในงานวิจัยนี้เตรียมสารเคลือบนาโนอิมัลชันด้วยกระบวนการโซนิเคชัน และทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ขนาดของอนุภาค, ดัชนีการกระจายตัวแบบผสม ศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พร้อมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลไม้ตัวอย่างและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

คำสำคัญ : ลิโมนีน, อิมัลชัน, สารเคลือบผิวผักและผลไม้

Special project	Wax Coating Nanoemulsion from Limonene Extract
Student	ATIPORN HATHAIRAT
Student ID	58110065
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2018
Adviser	Asst. Prof. Dr. Darinee Phromyothin

Abstract

This project studied the wax coating from pomelo peel extract by preparing the nanoemulsion coating with the sonication method. Particle size distribution, polydispersity index, and antioxidant activity were considered wax stability furthermore, performance evaluation of wax coating by physical property and weight loss.

Keywords: limonene, emulsion, wax coating

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องสารเคลือบผิวนาโนอิมัลชันจากสารสกัดลิโมนีน ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้นั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จ บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่เป็นผู้มอบโอกาสความรู้ทางวิชาการ แนวทางการวางแผนงาน และแนวทางในทางการแก้ปัญหา รวมถึงให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ของโครงการพิเศษตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ขอขอบคุณ ดร.ศุภมาส วิรุณจิตร์ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ และ ผศ.ดร.สุธี ชูติไพจิตร ที่ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษให้ข้อเสนอแนะและช่วยในการแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆในห้องปฏิบัติการทดลอง สำหรับความช่วยเหลือในงานวิจัย อำนวยความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือ วัสดุและการให้คำแนะนำ แนวความคิดเห็น และแนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติๆ เพื่อนๆ และคณาจารย์ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนงานและแนวทางในการแก้ปัญหาย่างดีในงานวิจัยนี้ตลอดการศึกษา โดยผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เนื้อหาความรู้จากโครงการพิเศษฉบับนี้จะประโยชน์ทางด้านวิชาการให้แก่ท่านไม่มากนักน้อ

อติพร ทภัยรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 แผนงานวิจัย.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 ชีวิตวิทยาของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว.....	3
2.1.1 การหายใจ.....	3
2.1.2 การคายน้ำ.....	3
2.1.3 น้ำตาลและแป้ง.....	3
2.1.4 ไซมัน.....	4
2.1.5 โพรตีน.....	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 กรดอินทรีย์.....	4
2.1.7 วิตามิน.....	4
2.1.8 สารสี.....	4
2.1.9 การโค้งงอและการงอก.....	5
ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อชีววิทยาของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว.....	5
2.2 น้ำความชื้นและการคายน้ำ.....	6
2.2.1 ความชื้นในอากาศ.....	6
2.2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำ.....	7
2.2.3 ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลผลิต.....	8
2.2.4 ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำของผลผลิต.....	10
2.2.5 การป้องกันการคายน้ำ.....	11
2.2.6 ประโยชน์ของการสูญเสียน้ำ.....	11
2.3 การเก็บเกี่ยว.....	12
2.4 การทำความสะอาดตัดแต่งและคัดเลือก.....	12
2.5 การบรรจุหีบห่อของผักผลไม้.....	13
2.5.1 ลักษณะของภาชนะบรรจุที่ดี.....	14
2.6 การทำให้ผักผลไม้เย็น.....	14
2.6.1 การทำให้เย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง.....	15
2.6.2 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง.....	16
2.6.3 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำแข็ง.....	16
2.7 การเก็บรักษาผักและผลไม้.....	17
2.7.1 อุณหภูมิ.....	17
2.7.2 ความชื้น.....	18

2.7.3 องค์ประกอบของบรรยากาศ	18
2.8 สารเคลือบผิวผักและผลไม้.....	18
2.8.1 ความสำคัญของสารเคลือบผิวผักและผลไม้.....	18
2.8.2 ประโยชน์ของสารเคลือบผิวผักและผลไม้	19
2.8.3 ชนิดของสารเคลือบผิว.....	19
2.8.4 สารเคลือบผิวผลไม้ที่สามารถบริโภคได้	19
2.9 อิมัลชัน (Emulsion).....	20
2.9.1 ความหมายของอิมัลชัน	20
2.9.2 ระบบการกระจายตัวของสาร (Dispersed system)	21
2.9.3 ชนิดของอิมัลชัน	21
2.9.4 ไฮโดรฟิลิก ลิปโอฟิลิก บาลานซ์ (The hydrophilic-lipophilic balance, HLB).....	24
2.9.5 กระบวนการเตรียมอิมัลชัน.....	24
2.10 สารลิโมนีน.....	25
2.10.1 สมบัติทั่วไปของสารลิโมนีน	25
2.10.2 สมบัติของลิโมนีน	26
2.11 การต้านอนุมูลอิสระ	26
2.11.1 อนุมูลอิสระ (free radical)	26
2.11.2 ชนิดและการเรียกชื่ออนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง	27
2.11.3 ดัชนีชี้วัดจากความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน.....	27
2.12 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)	29
2.13 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle analyzer).....	30
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	33

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำการทดลอง	33
3.1.1 สารเคมี	33
3.1.2 อุปกรณ์	33
3.2 การผลิตสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน	34
3.2.1 การผลิตสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน	34
3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	38
4.1 ลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน	38
4.2 ค่าขนาดของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชัน	39
4.3 ค่าการกระจายตัวของลิโมนีนอิมัลชัน	40
4.4 ผลทดสอบคุณสมบัติของลิโมนีนอิมัลชัน ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูล อิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay)	41
4.5 ผลการเคลือบผลไม้ด้วยลิโมนีนอิมัลชัน	43
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลงานวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
ภาคผนวก	47
บรรณานุกรม	50
ประวัติผู้เขียน	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนงานวิจัย.....	2
2.1 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของอิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน นาโนอิมัลชัน	23
2.2 ค่าไฮโดรฟิลลิก ลิโพฟิลิก บาลานซ์ตามการนำไปใช้งาน.....	24
2.3 ตารางแสดงตารางคุณสมบัติของลิโมนีน	26
2.4 วิธีต่างๆที่ใช้กระบวนการวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันการวิเคราะห์แบ่งเป็นวิธีการจัดการวัดโดยอ้อมและโดยตรง.....	28
3.1 ความเข้มข้นของลิโมนีนในการทดสอบสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ	35
4.1 ขนาดของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชัน	39
4.2 ค่าการกระจายตัวของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชัน	40
ก.1 สัดส่วนเฟสน้ำ เฟสน้ำมันและเฟสอิมัลซิไฟเออร์ของลิโมนีนอิมัลชัน.....	48
ก.1 สัดส่วนเฟสน้ำ เฟสน้ำมันและเฟสอิมัลซิไฟเออร์ของลิโมนีนอิมัลชัน(ต่อ).....	49

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแผนภูมิไฮโครเมตริก	6
2.2 ประเภทของอิมัลชันแบบคอนเวนชันนอลอิมัลชัน	21
2.3 รูปภาพแสดงชนิดของอิมัลชันแบบมัลติเฟลออิมัลชัน	22
2.4 แผนภูมิเทอนาร์เฟสไดอะแกรม	22
2.5 รูปภาพแสดงโครงสร้างของลิโมนีน	25
2.6 เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	30
2.7 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	30
3.1 ขั้นตอนการผลิตลิโมนีนอิมัลชัน	34
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารลิโมนีนอิมัลชันในการวัดการต้านอนุมูลอิสระ	36
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารมาตรฐาน (BHT) ในการวัดการต้านอนุมูลอิสระ	36
3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติของลิโมนีนอิมัลชัน	37
4.1 ลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน	38
4.2 การกระจายตัวของค่าขนาดของอนุภาค	40
4.3 สารเคลือบผิวสูตรที่ 1, 2 และ 3 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10 และ สารมาตรฐาน บีเอชที ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช	41
4.4 สารเคลือบผิวสูตรที่ 4, 5, 6 และ 7 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10 ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช	42
4.5. เบอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารเคลือบผิวในสูตรที่ 1-7 เทียบกับสารมาตรฐาน (BHT)	42
4.6 ลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1, 2 และสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ	43
4.7 ลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 5, 6 และ 7	44
4.8 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ผักและผลไม้ นับเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2560 ประเทศไทยมียอดการส่งออกผักและผลไม้รวม 6 หมื่นล้านบาท และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 10-20% [1] ซึ่งเป็นเพราะผักและผลไม้ของไทยมีความหลากหลาย และต่อเนื่องตลอดปี ทำให้มีความได้เปรียบด้านประเภทสินค้า และมีความยืดหยุ่นด้านปริมาณการส่งออก แต่ประเทศไทยยังมีข้อจำกัดในเรื่องการสูญเสียคุณภาพของผลิตผลสดทางเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวจากแปลงของเกษตรกร ผู้ผลิตจนถึงผู้บริโภค ซึ่งการสูญเสียคุณภาพดังกล่าวมีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น การสุกของผักและผลไม้ขณะขนส่ง การสูญเสียน้ำ การเกิดบาดแผลขณะการขนส่ง และการวางจำหน่าย โดยการสูญเสียน้ำทำให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนัก เหี่ยว และผิดรูปทรง

นาโนอิมัลชันจัดเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสูงมาก เนื่องจากสามารถกักเก็บ (Encapsulating) สารสำคัญที่มี คุณสมบัติต่างๆ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารกลิ่นรส และสารต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้อนุภาคของสารมีขนาดเล็กและเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรในการเคลือบผิวอาหารเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น [2]

น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้มประกอบด้วย ลิโมนีนมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ [5] จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตลิโมนีน ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการแต่งกลิ่นเครื่องสำอางและเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าลิโมนีนมีฤทธิ์ในการกำจัดแมลง ด้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา [6] และต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย [7]

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำสารเคลือบผิวผักและผลไม้ ที่มีคุณสมบัติในการชะลอการสุกของผักและผลไม้ ชะลอการสูญเสียน้ำ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้สารเคลือบผิวผักและผลไม้ด้วยลิโมนีนอิมัลชัน ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ การทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการชะลอการสุกของผักและผลไม้ และชะลอการสูญเสียน้ำของผักและผลไม้ที่เคลือบผิวด้วยลิโมนีนอิมัลชันกับผักและผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบสารดังกล่าว เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ และเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมลิโมนีนอิมัลชัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของลิโมนีนนาโนอิมัลชัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังทำการเคลือบด้วยสารเคลือบ ลิโมนีนนาโนอิมัลชันเทียบกับผักและผลไม้ที่ยังไม่ได้ทำการเคลือบ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตลิโมนีนอิมัลชัน โดยการสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ ขนาดของอนุภาค ดัชนีการกระจายตัวแบบผสม การต้านอนุมูลอิสระ
- 1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช
- 1.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผักและผลไม้หลังทำการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบนาโนอิมัลชัน เทียบกับผักและผลไม้ที่ยังไม่ได้ทำการเคลือบ โดยการสังเกตลักษณะทางกายภาพของผักและผลไม้และการวัดร้อยละน้ำหนักการสูญเสียน้ำ

1.4 แผนงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนงานวิจัย

รายละเอียดโครงการ	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-พ.ย.	ธ.ค.-ม.ค.	ก.พ.-มี.ค.	เม.ย.-พ.ค.
ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					
ออกแบบวิธีการทดลองและวางแผนการทดลอง					
ผลิตลิโมนีนอิมัลชัน					
ศึกษาสมบัติและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของลิโมนีนอิมัลชัน					
วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย					
จัดทำเล่มรายงานปริญญาานิพนธ์					
เสนอผลการศึกษาจากโครงการวิจัย					

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

นาโนอิมัลชันของสารเคลือบผักและผลไม้ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสุก และลดการสูญเสียน้ำในผักและผลไม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ชีววิทยาของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

กระบวนการที่จะเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวของผักผลไม้ทางชีววิทยามีดังนี้

2.1.1 การหายใจ

กระบวนการหายใจของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เป็นกระบวนการที่จะเผาผลาญอาหารที่สะสมอยู่ในรูปต่างๆของผักและผลไม้ ไม่ว่าจะเป็นการสะสมอยู่ในรูปของน้ำตาล หรือแป้งที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงาน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผักและผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อยความร้อนออกมา ซึ่งจะทำให้ผักและผลไม้เน่าเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บรักษาในอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นกระบวนการกระตุ้นการหายใจของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

2.1.2 การคายน้ำ

ผักและผลไม้มีความชื้นภายในมากกว่า 80% ซึ่งสูงกว่าความชื้นภายนอก ดังนั้นภายในผักและผลไม้จึงมีการเคลื่อนที่ของน้ำสู่อากาศภายนอกเพื่อระบายความร้อนจากกระบวนการหายใจมีโครงสร้างและช่องว่างให้น้ำและอากาศเข้าออกได้อย่างสะดวก เช่น ปากใบ หรือแผล โดยในผักและผลไม้จะมีการสร้างโครงสร้างเพื่อลดการคายน้ำของพืช การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนของพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ โดยโครงสร้างเนื้อเยื่อของพืชทุกชนิดสามารถสร้างเอทิลีนได้ตามธรรมชาติ ผักและผลไม้จะผลิตเอทิลีนในปริมาณน้อย แต่เมื่อผลไม้สุกหรือการที่ผักและผลไม้มีบาดแผล เช่น บาดแผลจากการกระทบกระเทือน จะทำให้เนื้อเยื่อสร้างเอทิลีนในปริมาณมากขึ้น โดย เอทิลีนนี้จะไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆภายในของผักและผลไม้ทำให้ผักและผลไม้เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ [9]

2.1.3 น้ำตาลและแป้ง

ภายหลังการเก็บเกี่ยวอาจมีการเปลี่ยนแปลงของแป้งและน้ำตาล โดยปริมาณของแป้งหรือน้ำตาลจะมีการเพิ่มขึ้น หรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ เนื่องจากการเก็บรักษาผักและผลไม้ มีการหายใจตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการใช้แป้งหรือน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน

2.1.4 ไขมัน

ในพืชมีปริมาณของไขมันอยู่น้อยมาก โดยส่วนมากสะสมอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดทั้งไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่คงตัว และทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งจะก่อให้เกิดรสชาติขม ไขมันอีกประเภทหนึ่งที่อยู่ในพืชจะเป็นไขมันที่ปกคลุมผิวได้แก่ แวกซ์ คิวติน และ ซูเบอร์ิน โดยจะทำหน้าที่ลดการคายน้ำและป้องกันโรคและแมลงได้ อีกด้วย

2.1.5 โปรตีน

ในผักและผลไม้มีโปรตีนในปริมาณน้อย ซึ่งจะอยู่ในรูปของเอนไซม์ เพื่อนำไปใช้ใน ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเปลี่ยนแปลงของข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยวโดยจะต้องใช้เอนไซม์เพื่อเปลี่ยนจากแป้งไปเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์จะเข้าไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายผนังเซลล์ ทำให้ข้าวโพดนั้นนุ่มลง

2.1.6 กรดอินทรีย์

กรดอินทรีย์ที่พบมากในผักและผลไม้คือ กรดซิตริกและกรดมาลิก ซึ่งกรดอินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ผลไม้มีรสเปรี้ยว ผลไม้ที่เพิ่งถูกเก็บเกี่ยวหรือผลไม้ที่ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่มากแต่เมื่อเวลาผ่านไปผลไม้เหล่านั้นจะมีปริมาณของกรดลดลงจึงทำให้ผลไม้มีรสชาติที่ดีขึ้น [10]

2.1.7 วิตามิน

ส่วนใหญ่ในผักและผลไม้มีวิตามินเอซึ่งอยู่ในรูปของแคโรทีน ซึ่งเป็นสารสีที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนักหลังการเก็บเกี่ยว แต่ในส่วนของวิตามินซีจะมีการเปลี่ยนแปลงมากตามสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิในการเก็บรักษา ถ้าเก็บรักษาผลไม้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้สูญเสียวิตามินซีได้ง่ายมากขึ้น และการสูญเสียน้ำออกจากผักและผลไม้ก็ทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีได้เช่นเดียวกัน

2.1.8 สารสี

ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารสีซึ่งจะเห็นได้ชัดใน ผักและผลไม้ที่มีสีเดียว ซึ่งจะมีเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือสีแดง โดยสารสีที่อยู่ในผักและผลไม้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ สารสีที่ละลายในไขมัน เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีน และไลโคปีน อีกประเภทหนึ่งคือสารที่ละลายในน้ำ ได้แก่ สีแอนโทไซยานินต่างๆ การเปลี่ยนแปลงไปของสีเขียวอาจต้องบอกได้ถึงสภาพของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งแสดงถึงคุณภาพที่ต่ำลงของผักและผลไม้ สำหรับแสงสีเหลืองของแคโรทีนและสีแดงของ ไลโคปีนจัดว่าเป็นสารที่มีความเสถียรในการเก็บรักษาในสภาพต่างๆ

2.1.9 การโค้งงอและการงอก

ผักและผลไม้บางชนิดภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีพัฒนาการหรือการเจริญเติบโต เช่น การงอกของมันฝรั่ง หัวมันเทศ หัวหอม และกระเทียม โดยจะเกิดขึ้นเมื่อถูกเก็บรักษาไว้ในที่มีความชื้นสูง ดังนั้นผักและผลไม้ประเภทนี้จะ ต้องเก็บในความชื้นที่ค่อนข้างต่ำซึ่งต่างจากผักและผลไม้ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีผักและผลไม้บางชนิดที่ตอบสนองต่อแสงและแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น หน่อไม้ฝรั่งจะมีการงอกขึ้น ถ้ามีการเก็บรักษาในแนวราบ ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาในแนวตั้ง เพื่อลดการโค้งงอของหน่อไม้ฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว [9]

ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อชีววิทยาของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

(1) **อุณหภูมิ** อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเก็บรักษาผักและผลไม้ในที่มีอุณหภูมิสูง จะเป็นปัจจัยในการเร่งกระบวนการต่างๆ เช่น การหายใจ การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบเคมี นอกจากนี้ยังไปกระตุ้นการเจริญเติบโต และกระตุ้นการพัฒนาของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ผักและผลไม้เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วส่งผลให้อายุการเก็บรักษาลั้น ฉะนั้นควรเก็บรักษาผักและผลไม้ในอุณหภูมิต่ำ เพื่อเป็นการยืดอายุของผักและผลไม้ให้นานขึ้น

(2) **ความชื้นสัมพัทธ์** ภายในอากาศมีโมเลกุลของน้ำกระจายตัวอยู่ และอากาศที่กระจายตัวอยู่นั้น จะไม่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ จึงเกิดการคายน้ำของผักและผลไม้เข้าสู่อากาศภายนอก โดยความชื้นสัมพัทธ์จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศ ถ้าอุณหภูมิสูงจะมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ จะก่อให้เกิดการคายน้ำในปริมาณมาก และถ้าอุณหภูมิต่ำจะมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น จะทำให้อากาศนั้นรับไอน้ำได้มากขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะสามารถรับไอน้ำได้น้อยลง ดังนั้นการเก็บรักษาผักและผลไม้ในที่มีอุณหภูมิต่ำหรือความชื้นสัมพัทธ์สูงจะสามารถยืดอายุของผักและผลไม้ได้

(3) **บรรยากาศ** ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆของพืช เช่น กระบวนการหายใจและการสร้างเอทิลีน โดยถ้าในบรรยากาศมีปริมาณออกซิเจนมาก จะทำให้มีอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีนที่มากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้ ถ้าในการเก็บรักษาผักและผลไม้มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในปริมาณมาก จะทำให้สามารถชะลอ การหายใจในผักและผลไม้ได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าในการเก็บรักษาผักและผลไม้มีปริมาณของออกซิเจนที่ต่ำเกินไปและมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการหายใจของผักและผลไม้โดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในผักและผลไม้ เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียรส กลิ่น และจะเกิดการเน่าของผักและผลไม้ในที่สุด

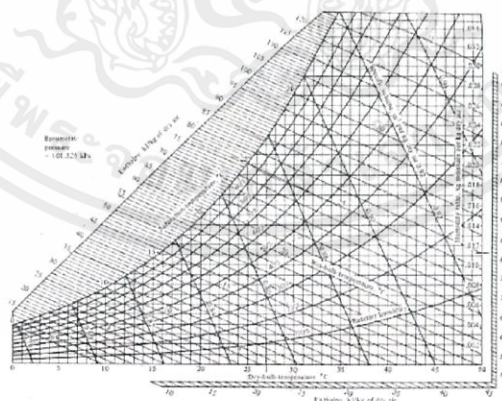
(4) **แสงและแรงโน้มถ่วง** เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยืดอายุของผักและผลไม้ไม่มากนัก ซึ่งหากการเก็บรักษาผักและผลไม้ในที่ที่มีแสงแดดจะ ก่อให้เกิดการสังเคราะห์ผักและผลไม้ดังนั้นการเก็บรักษาผักและผลไม้ในที่ที่มีแสงจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในที่มืด เนื่องจากผลไม้สามารถสร้างคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในที่มืด [10]

2.2 น้ำความชื้นและการคายน้ำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพราะน้ำมีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น คุณสมบัติในการเป็นตัวทำละลายที่ดี ทำให้พืชสามารถนำเอาแร่ธาตุต่างๆมาใช้ประโยชน์ได้ น้ำยังคงเป็นตัวยุคสำคัญในทางปฏิกิริยาชีวเคมีได้หลายอย่าง เช่น การสังเคราะห์แสงของพืช เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วน้ำยังมีความจุความร้อนสูงและมีค่าความร้อนการกลายเป็นไอสูงถึง 540 แคลอรีต่อกรัมอีกด้วย พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการช่วยระบายความร้อน เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปอันอาจเกิดขึ้นจากแหล่งพลังงานความร้อนภายนอก เช่น แสงอาทิตย์ หรือการหายใจของพืชเอง สำหรับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวแล้วถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำที่เคยได้จากราก แต่การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะผลผลิตพืชสวนซึ่งส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70 %

2.2.1 ความชื้นในอากาศ

การสูญเสียน้ำออกจากพืชขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศภายนอก โดยความชื้นของอากาศนี้แปรผันตามสภาพแวดล้อมจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่มาของน้ำและอุณหภูมิ อากาศประกอบด้วย ไนโตรเจนประมาณ 78 % ออกซิเจน 21 % และแก๊สอื่นๆเล็กน้อย แต่อากาศทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ [10]



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริก

(ที่มา: <http://surarphat2532.blogspot.com/2017/12/psychometric-chart.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำ

โดยทั่วไปจากกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำมี 2 แบบคือ แมสโฟลด์ และ ดิฟฟิวชันแมสโฟลด์ หมายถึงการเคลื่อนที่ของน้ำเป็นกลุ่มใหญ่ๆ เนื่องจากมีพลังงานภายนอกผลักดัน เช่น การเคลื่อนที่ของน้ำในแม่น้ำน้ำตกล้ำฝน เพราะแรงดึงดูดของโลกน้ำในท่อประปา เพราะแรงจากปั้มน้ำ ส่วนดิฟฟิวชัน หรือการแพร่กระจายเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำที่ๆ มีความเข้มข้นสูงไปสู่ที่ๆมีความเข้มข้นต่ำ การสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นการเคลื่อนที่แบบแพร่กระจาย โดยทั่วไปน้ำเคลื่อนที่ออกจากผลิตผลสู่ภายนอก เพราะในสภาพปกติความชื้นในอากาศไม่ถึง 100 % ความชื้นสัมพัทธ์ความดันไอต่ำ ยกเว้นในบางกรณี เช่น ฝนตก หรือในตอนเช้าๆ ส่วนน้ำในพืชนั้นเปรียบเสมือนน้ำที่อยู่ในภาชนะปิดมีช่องทางที่น้ำจะออกมาค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวทั้งหมดเพราะในเนื้อเยื่อ เอพิเดอร์มิส ซึ่งมีคิวติเคิลหนาปกคลุมอยู่ในสภาพอากาศเช่นนี้อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องไปจนถึงปากใบหรือช่องเปิดต่างๆ จึงมีไอน้ำซึ่งออกมาจากเซลล์อยู่มาก โดยปกติหากน้ำในภาชนะปิดเป็นน้ำบริสุทธิ์น้ำจะสามารถระเหยออกมาอยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศ จนถึงจุดอิ่มตัวน้ำในอากาศจะมีไม่ถึง 100 % สำหรับพืชน้ำในเซลล์ไม่บริสุทธิ์แต่น้ำที่ระเหยออกมาก็อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ได้มากใกล้เคียงถึง 100% จึงถือว่าในผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมานี้ อากาศมีความชื้นอยู่ 100% ความดันไอรอบระดับอิ่มตัวปริมาณไอน้ำผลิตผลดังกล่าวอยู่เท่าใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญจึงถือว่าความดันที่ 1 บรรยากาศจะสามารถหาปริมาณไอน้ำภายในผลิตผลได้

สำหรับช่องทางการเคลื่อนที่ของน้ำนั้นไม่ใช่แค่เคลื่อนที่ออกจากผลิตผลได้เพียงเฉพาะปากใบเท่านั้นช่องเปิด ไม่ใช่เคลื่อนที่ออกจากผลิตผลได้เพียงเฉพาะปากใบเท่านั้นช่องเปิดอื่นๆ เช่น เลนติเซล รอยแผลเป็นที่ขั้วและปลายผลก็เป็นช่องทางออกของน้ำได้เช่นกันนอกจากนั้นยังสามารถเคลื่อนที่ผ่าน คิวติเคิล ออกมาได้มากเช่นกัน การเคลื่อนที่ของน้ำแบบแพร่กระจายนี้เป็นไปตามกฎการแพร่กระจายของฟิก

$$J = K \times VPD \quad (2.2)$$

เมื่อ J คือ อัตราการเคลื่อนที่ของไอน้ำระหว่าง

K คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่

R คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของน้ำ

VPD คือ ความแตกต่างระหว่างความดันไอของสถานที่ทั้งสองแห่ง ในที่นี้คือระหว่างภายในพืชกับบรรยากาศภายนอก

เมื่อบรรยากาศภายนอกหรือความดันไอน้ำของอากาศ ส่วนความดันภายในพืชหมายถึงความดันไอน้ำในที่ที่อ้อมตัวด้วยไอน้ำ จะถือว่าสภาพบรรยากาศภายในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้มีสภาพอ้อมตัวด้วยไอน้ำมาจากเซลล์นั่นเองดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการของฟิกได้ใหม่เป็น

$$j = \frac{A}{R} (SVP - VP) \quad (2.3)$$

การเคลื่อนไหวของไอน้ำออกจากผักและผลไม้ตามกฎของฟิกส์นี้ จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียไอน้ำ [10]

2.2.3 ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการสูญเสียไอน้ำของผลผลิต

ถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มพื้นผิวของการสูญเสียไอน้ำ จะทำให้มีการสูญเสียไอน้ำมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามสิ่งที่ต้านทานต่อการเคลื่อนไหวของน้ำจะลดการสูญเสียไอน้ำออกจากผลผลิตลง ดังจะเห็นได้จากปัจจัยต่างๆดังนี้

2.2.3.1 ขนาดของผลผลิต

ผลผลิตที่มีขนาดใหญ่มีพื้นผิวที่จะระเหยน้ำได้มากกว่าผลผลิตที่มีขนาดเล็กอย่างเด่นชัด แต่เมื่อคิดเทียบน้ำหนักที่เท่ากันแล้วผลขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่า ดังนั้นผลขนาดเล็กกว่าจะสูญเสียไอน้ำได้มากกว่าจะเหี่ยวได้เร็วกว่าผลขนาดใหญ่ หรือเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผักรับประทานใบกับผลไม้ ก็เห็นความแตกต่างได้ชัดขึ้น เพราะในน้ำหนักที่เท่ากัน ผักที่รับประทานใบจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าผลไม้หลายเท่าตัว จึงพบว่าผักนั้นเหี่ยวและเน่าเสียได้ง่ายกว่าผลไม้มาก แต่ในทางกลับกันเมื่อมีการสูญเสียไอน้ำที่เกิดขึ้นและเกิดการเหี่ยวขึ้น ผักก็สามารถนำน้ำกลับเข้าไป ไม่ว่าจะเป็นการคายน้ำในน้ำหรือพรมน้ำให้ทั้งนี้ก็เพราะใบมีช่องเปิด หรือปากใบมากพร้อมที่จะรับน้ำเข้าไปได้ ในขณะที่ผลไม้ไม่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตามพื้นผิวของผลผลิตนั้นมีไม่ว่าจะทุกๆส่วนจะสามารถคายน้ำได้ในอัตราเท่ากันทั้งหมด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างต่างกันบางส่วนมีช่องเปิดที่ยอมให้น้ำและอากาศเข้าผ่านได้อย่างสะดวกมากกว่าส่วนอื่นๆ

2.2.3.2 ปากใบ

ปากใบเป็นช่องเปิดที่พืชใช้สำหรับการคายน้ำ และระบายความร้อน ใน ขณะเดียวกันก็รับเอาคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนสำหรับการสังเคราะห์แสงและการหายใจเข้าไปด้วย ปากใบมีกลไกการควบคุมการเปิดปิด ได้แก่ การ์ดเซลล์ นอกจากจำนวนปากใบ และการเปิดปิดของปากใบแล้ว ขนาดและโครงสร้างของผักและผลไม้ยังเป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียไอน้ำ ด้วยในพืชบางชนิดปากใบจะอยู่ลึกลงไปใต้ผิวใบ ทำให้โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ออกไปได้ยากขึ้น

2.2.3.3 เลนติเซล

ช่องเปิดอีกอย่างหนึ่งของผลิตผลให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกได้คือเลนติเซล เลนติเซลในพืชหัวเช่นมันฝรั่งเป็นส่วนของเพริเดิร์ม ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่เพลโลเจน บางส่วนที่เจริญออกทางด้านนอกมากกว่าส่วนอื่นๆและแตกต่างจากที่ เพลโลเจน โดยทั่วไปคือมีช่องว่างระหว่างเซลล์มากกว่า และอาจมีหรือไม่มีการสะสมของพวกซูเบอลิน มีข้อแตกต่างที่สำคัญจากปากใบคือไม่มีกลไกการควบคุม เพราะฉะนั้นอัตราการไหลเข้าออกของไอน้ำจึงขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของเลนติเซล ลักษณะของเลนติเซลในการผลิตแตกต่างกันออกไปทำให้มีอัตราการสูญเสียน้ำที่แตกต่างกันด้วย

2.2.3.4 ลักษณะของผลิตผล

ผลิตผลบางอย่างมีลักษณะโครงสร้างพิเศษออกไป และส่งผลถึงอัตราการสูญเสียน้ำได้ เช่น ส่วนที่เป็นขนของเงาะนั้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับเงาะมากกว่าผลไม้อื่นๆ ในขณะเดียวกันทำให้เงาะมีอัตราการสูญเสียน้ำเร็วมากถึง 4 % กะหล่ำปลีซึ่งเป็นผักที่ใช้รับประทานใบ ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างนานทั้งนี้เพราะลักษณะของใบกะหล่ำปลีเรียงซ้อนกันอยู่ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการระเหยน้ำเฉพาะชั้นนอกสุดเท่านั้น พื้นที่ผิวของใบชั้นในจึงไม่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศภายนอก จึงทำให้มีการคายน้ำน้อย และคงบนผนังด้านนอกของความสดของใบไว้ได้นาน

2.2.3.5 ขน

ในที่นี้หมายถึงส่วนเนื้อเยื่อที่เจริญมาจากชั้นของเอพิเดอร์มิส ซึ่งอาจมีเพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ก็ได้มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไป เช่น มีลักษณะเป็นขนหรือเกล็ด เหล่านี้เช่นเดียวกับเงาะ ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำออกจากผลิตผลได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามอาจทำให้ชั้นของบรรยากาศอ้อมตัวด้วยซึ่งอ้อมตัวด้วยน้ำ ผลิตผลหนาขึ้นส่งผลให้การสูญเสียน้ำต่ำลงได้

2.2.3.6 บาวดารีเลเยอร์

เป็นชั้นอากาศบางๆที่ติดอยู่กับผิวของผลิตผลเป็นชั้นที่มีการเคลื่อนไหวของอากาศค่อนข้างน้อย มีความจะหนาบางไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับแรงยึดเกาะระหว่างอากาศกับผิวของผลิตผล นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนไหวของอากาศ โดยรอบด้วย ถ้าอากาศเคลื่อนไหวมากอากาศชั้นนี้จะบางลง ถ้ามีการเคลื่อนไหวของอากาศน้อยชั้นทำให้เกิดสิ่งกีดขวางในการถ่ายเทโมเลกุลน้ำจะผลิตผลสู่ภายนอก เพราะโมเลกุลของน้ำจะต้องแพร่กระจายผ่าน บาวดารีเลเยอร์ก่อนจึงจะถูกลมพัดพาออกไปอีกที

2.2.3.7 คิวติเคิล

ประกอบด้วยสารประเภท ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ การกีดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแว็กซ์ ลักษณะทางกายภาพของแว็กซ์ มากกว่าความหนาของแว็กซ์ แว็กซ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น หรือเป็นเกล็ดเล็กๆเรียงซ้อนกันจะป้องกันน้ำได้มากกว่าที่ไม่มีลักษณะพิเศษ แต่อัตว์เป็นชั้นหนาเพราะโมเลกุลของน้ำจะต้องผ่านชั้นแว็กซ์ และช่องว่างที่เป็นอากาศหลายชนิดกว่าจะออกไปถึงคิวติเคิลของผลิตภัณฑ์ สำหรับชนิดของแว็กซ์ที่มีลักษณะเป็น ซอฟแว็กซ์ ให้คุณสมบัติในการลดการคายน้ำได้ดีกว่าฮาร์ดแว็กซ์ มักมีสารประเภทฟีนอลอยู่ด้วยทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อภายในจากศัตรูต่างๆเช่น เชื้อโรคและแมลง

2.2.3.8 บาดแผล

บาดแผลเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่น้ำจะผ่านออกไปจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและสะดวกกว่าช่องทางอื่นๆ เพราะสิ่งกีดขวางการเข้าออกของน้ำถูกทำลายไปหมด แต่ผลิตภัณฑ์ทั่วไปจะมีความสามารถในการสมานแผลที่เกิดขึ้น เช่นในหัวฝรั่งจะมีการสร้างเนื้อเยื่อเพริเดิร์ม มาปิดปากแผล เซลล์เนื้อเยื่อของเพริเดิร์ม จะมีสารพวกซูเบอร์อิน ทำให้การสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้น้อย และช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคอีกด้วย

นอกจากปากแผลที่เป็นช่องเปิดโดยตรงแล้ว รอยขีดที่เกิดจากการกระทบกระเทือน จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำได้มากขึ้นเช่นกัน เพราะเมื่อเซลล์ถูกทำลายจุลินทรีย์จะเข้าไปเจริญเติบโต และทำลายโครงสร้างการป้องกันการสูญเสียน้ำให้หมดไปเกิดเป็นช่องเปิดให้เกิดการสูญเสียน้ำได้ [10]

2.2.4 ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์

ในการทำงานเกี่ยวกับปัจจัยภายในปัจจัยภายนอก ได้แก่ สิ่งที่มีผลต่อพื้นผิวในการระเหยน้ำหรือต่อความต้านทานในการเคลื่อนที่ของน้ำ แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ความแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นหรือความดันในภายในผลิตภัณฑ์ กับความดันในภายนอกซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาอิทธิพลได้แก่

2.2.4.1 ความชื้นในอากาศ

ความชื้นหรือความดันไอของน้ำในบรรยากาศ โดยปกติจะมีอยู่ต่ำกว่าระดับความชื้นอิ่มตัวหรือความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จึงมีโอกาสในการรับน้ำได้อีกบ้างใน ส่วนของผักและผลไม้ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นมียอดค่าประกอบของน้ำมากกว่า 70เปอร์เซ็นต์ และส่วนใหญ่จะมีน้ำอยู่ถึงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ความดันไอของน้ำในผลไม้ที่ค่อนข้างสูง เพราะเมื่อเปรียบเสมือนภาชนะปิดไอน้ำรอบรอบเซลล์จะอยู่ในสมดุลกับน้ำ ภายในเซลล์จึงอาจถือว่าความดันไอของน้ำภายในผลิตภัณฑ์มีค่า

เท่ากับความดันไอของน้ำอิ่มตัว ฉะนั้นจะมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับว่าบรรยากาศภายนอกมีความชื้นมากน้อยเพียงใด

ในกรณีความชื้นบรรยากาศรอบๆ อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ มีโอกาสสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์กับบรรยากาศได้ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งมีชีวิตมีการหายใจให้พลังงานความร้อนออกมาสู่อากาศรอบนอกบรรยากาศทำให้อุณหภูมิของอากาศสูง และทำให้อากาศรับน้ำได้มากขึ้นกว่าเดิม

2.2.4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความชื้น และการสูญเสียน้ำ ทั้งนี้เพราะสารทุกอย่างมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะพวกของเหลวและแก๊ส จะเห็นได้ชัดยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น การเคลื่อนไหวของโมเลกุลจะมีมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะที่เป็นของเหลวอยู่ในสถานะแก๊สได้มากขึ้น ความดันไอน้ำในผักและผลไม้จึงสูงขึ้นตามอุณหภูมิ ในทางตรงกันข้ามความดันไอของน้ำอากาศรอบ เมื่อไม่ได้ถูกจำกัดปริมาณเหมือนในผลไม้ ดังนั้นความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างผลิตภัณฑ์กับภายนอกจึงเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่ไอน้ำจะออกจากผลิตภัณฑ์สู่บรรยากาศภายนอกมีมากขึ้น

2.2.5 การป้องกันการคายน้ำ

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีอัตราการสูญเสียน้ำน้อยที่สุดนี้ทำได้ โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆ ข้างต้น ให้อัตราการสูญเสียน้ำกับบรรยากาศภายนอก มีความแตกต่างกันของความดันไอน้ำน้อยที่สุด โดยตั้งแต่การเก็บเกี่ยวต้องทำด้วยความระมัดระวังมิให้เกิดบาดแผลและต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีความชื้นสูงและมีอุณหภูมิต่ำซึ่ง

2.2.6 ประโยชน์ของการสูญเสียน้ำ

ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปการสูญเสียน้ำทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวลดลง แต่ก็มียุทธศาสตร์ในการสูญเสียน้ำที่ทำให้เกิดประโยชน์ เช่น ในทุเรียนอัตราการสูญเสียน้ำจะทำให้เปลือกแยกออกจากกันและดึงแต่ละซีกของทุเรียนแยกออกจากกันได้ง่ายขึ้น ในมังคุดที่มีผิวลายเนื่องจากการเข้าทำลายของเพลี้ยไฟในขณะที่ยังเป็นดอกทรายที่เห็นนี้เป็นโครงสร้างของเลนติเซลล์ที่ผิวมังคุดสร้างขึ้น เพื่อตอบสนองการเข้าทำลายของแมลงแต่เลนติเซลล์นี้ยอมให้อากาศและน้ำผ่านเข้าออกได้ ทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากมังคุดมากจึงส่งผลให้เนื้อมังคุดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และกรดที่ในเตรทได้สูงกว่ามังคุดคือปกติทั่วไป [10]

2.3 การเก็บเกี่ยว

วิธีการเก็บเกี่ยวถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและปริมาณหลังการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปมีหลักการดังนี้

- (1) ประหยัดแรงงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิต
- (2) ใช้วัสดุอุปกรณ์ราคาถูกไม่ยุ่งยากสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว
- (3) ผักและผลไม้ต้องได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด ทั้งในทางกายภาพที่มองเห็นได้เช่น

บาดแผลต่างๆ และทางสรีรวิทยาซึ่งอาจมองไม่เห็น แต่เกิดผลเสียในภายหลังเช่นรอยช้ำในเนื้อผลไม้ ดังนั้นการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ ต้องคำนึงถึงเครื่องมือที่ใช้ให้เหมาะสม และประสิทธิภาพของเครื่องมือ ซึ่งนับเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้เวลาในการเก็บเกี่ยวก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลต่อการเก็บเกี่ยวและคุณภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ผักและผลไม้ทั่วไปควรเก็บเกี่ยวในเวลาเช้า เนื่องจากผักและผลไม้เหล่านั้นยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ มีอัตราการหายใจ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน้อย แต่ในผักและผลไม้บางชนิดนั้นอาจมีการเสียหายถ้าเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าเช่นมะม่วงจะมียางไหลหลังจากการเก็บเกี่ยวมาก ถ้าทำการเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าดังนั้นการเก็บเกี่ยวจะต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยภายนอกต่างๆ ซึ่งอาจส่งผลถึงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวด้วย [10]

2.4 การทำความสะอาดตัดแต่งและคัดเลือก

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจะต้องมีการขนผักและผลไม้ไปยังโรงบรรจุ เพื่อคัดเลือกผักและผลไม้ไปตัดแต่งและบรรจุภัณฑ์ เพื่อเตรียมส่งขายต่อไปโดยผักและผลไม้ที่ทำการเก็บเกี่ยวมานั้นจะมีทั้งคุณภาพที่ดีและไม่ดีถูกเก็บเกี่ยวมาซึ่งต้องมี กระบวนการต่างๆดังนี้

- (1) การทำความสะอาดผักและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะมีสิ่งสกปรก หรือคราบของสารเคมีและยากำจัดศัตรูพืชซึ่ง โดยส่วนมากกำจัดได้ด้วยการล้างทำความสะอาด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความสดให้กับผักและผลไม้ และเป็นการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ที่อาจเกิดจากการเก็บเกี่ยวลงด้วย

การล้างและทำความสะอาดผลไม้ต้องทำในสถานที่ที่แยกจากส่วนอื่น เพื่อสะดวกต่อการทำความสะอาด และสะดวกต่อการกำจัดน้ำที่ปนเปื้อนจากการล้างและทำความสะอาดผักและผลไม้ นอกจากนี้ภายหลังจากทำความสะอาดผักและผลไม้ในแต่ละวันแล้วต้องทำความสะอาด พื้นที่ใช้และเครื่องมือที่ใช้ในการล้างและทำความสะอาด เพื่อไม่ให้เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคด้วย

- (2) ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้บางชนิด อาจมีส่วนที่ติดมากเกินไปหรือส่วนที่ไม่จำเป็น เช่น ส่วนที่เน่าเสีย และส่วนที่ตำหนิจากโรคและแมลง ทั้งนี้การตัดแต่งควรพิจารณาใน ส่วนที่ได้คุณภาพที่ดีมีขนาดพอเหมาะและทำการบริโภคได้จริง

วิธีการคัดเลือกผักและผลไม้ที่มีตำหนิ และการเลือกขนาดสามารถทำได้ดังนี้

(1) การคัดเลือกผักและผลไม้ที่มีคุณภาพดี โดยปราศจากตำหนิ เน่าเสีย บาดแผล บวม ขี้รายย ถลอก หรือผักและผลไม้ที่มีรูปร่างและสีที่ผิดไปจากปกติ

(2) ในการคัดเลือกผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ควรคัดเลือกผักและผลไม้ที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยอาจเลือกจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความยาว และความสม่ำเสมอของสีผักและผลไม้ เช่น การคัดเลือกความยาวของถั่วฝักยาวให้มีความยาวที่เท่าๆกันหรือผักและผลไม้จำพวกแตงโม หอมใหญ่ มะเขือเทศทำการคัดเลือก โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นเกณฑ์กำหนด

วิธีการคัดเลือกเหล่านี้ อาจใช้สายตาหรือเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆเป็นเกณฑ์ เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น เช่น การใช้ไม้บรรทัดเพื่อวัดขนาดความยาวของผักหรือการใช้ห่วงวงกลมเพื่อวัดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของผักและผลไม้ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม การใช้เครื่องจักรกลมาใช้ในการคัดเลือกผักและผลไม้ จะทำให้มีความแม่นยำที่สูง และยังเป็นการประหยัดแรงงานในการคัดเลือก [10]

2.5 การบรรจุหีบห่อของผักผลไม้

ผักและผลไม้จะมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นหากมีการบรรจุหีบห่อที่เหมาะสม แม้ว่าการบรรจุหีบห่อไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผักและผลไม้ให้ดีขึ้นได้ แต่เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผักและผลไม้ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในทางการตลาดให้ดียิ่งขึ้น

โดยหน้าที่หลักของการบรรจุหีบห่อ คือการอำนวยความสะดวกในการขนส่งสินค้า โดยเป็นการรวบรวมผักและผลไม้ให้เป็นหน่วยเดียวกันและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวไปจนถึงมือผู้บริโภค และใช้เป็นสื่อในการแจ้งรายละเอียดสินค้าบนภาชนะบรรจุ

บรรจุภัณฑ์ที่ดีนั้นจะต้องมีความแข็งแรงที่มากพอในการรองรับผักและผลไม้ และแรงกระแทกกระเทือนจากภายนอก ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผักและผลไม้ โดยภายในบรรจุจะต้องมีปริมาณพอดิไม่ล้นจนเกินไป เพื่อป้องกันการกระแทกกระเทือนของผักและผลไม้ขณะขนส่ง โดยควรคำนึงถึงผลกระทบจากการเสียดสีของผักและผลไม้ที่อยู่ในกล่องด้วย และผนังของภาชนะบรรจุ อาจใช้กระดาษแข็งเพื่อทำเป็นช่องสำหรับการใส่ผักและผลไม้ เพื่อลดการกระแทกกระเทือน หรือการใช้โฟมเป็นถาดหลุม เพื่อช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้

โดยส่วนมากจะมีการใช้กล่องกระดาษในการบรรจุผักและผลไม้ด้วย กล่องกระดาษที่นำมาบรรจุต้องมีความแข็งแรงมากพอ ซึ่งความแข็งแรงของกล่องกระดาษอาจลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะความชื้นสูง เนื่องจากกระดาษสามารถดูดซับความชื้นภายในอากาศได้ ดังนั้นกระดาษที่ใช้ในการบรรจุนั้นจะต้องมีเนื้อกระดาษที่แน่นมากพอเพื่อรับน้ำหนักของผักและผลไม้ได้

อย่างไรก็ตามการบรรจุผักและผลไม้ลงในหีบห่อ ควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค สภาพแวดล้อม นอกจากนี้ควรได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาให้เกิดมลพิษ การใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมมาหีบห่อหากลและผลไม้ อาจทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไป หรือทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำเกินไปซึ่งอาจทำให้ผลไม้เกิดการเสื่อมสภาพได้

2.5.1 ลักษณะของภาชนะบรรจุที่ดี

ภาชนะบรรจุที่ดีนอกจากจะต้องทำหน้าที่ในการรองรับความต้องการและ การให้ข้อมูลที่ดีแล้วควรมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) ภาชนะที่ดีควรทำการขนส่งง่าย
- (2) การประกอบวัสดุเป็นภาชนะบรรจุสามารถทำได้ง่าย ใช้แรงงานหรือเครื่องทุ่นแรงได้
- (3) รูปร่างและขนาดที่เหมาะสมกับผักและผลไม้ [10]

2.6 การทำให้ผักผลไม้เย็น

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพ และการเก็บรักษาผลไม้ถ้ามีการเก็บรักษาผักและผลไม้ในอุณหภูมิสูง จะมีการเปลี่ยนแปลงและการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้อย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพและอายุในการบริโภคต่ำลงในทางเดียวกัน การลดอุณหภูมิจะช่วยให้สามารถอายุในการเก็บรักษาผักและผลไม้ได้

ผักและผลไม้ที่ถูกเก็บเกี่ยวจะมีความร้อนติดมากับการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างผักและผลไม้มักกับบรรยากาศรอบๆจากสิ่งแวดล้อม ความร้อนส่วนนี้เป็นความร้อนที่จะส่งผลถึงอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงต่างๆทำให้ผักและผลไม้นั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว จึงเป็นความร้อนที่ต้องกำจัดออก

หลักการของการทำให้ผักและผลไม้เย็น

การทำให้ผักและผลไม้เย็นมีหลักการโดย การดึงเอาความร้อนผักผลไม้ออกไปโดยอาศัยตัวกลางต่างๆ เช่น น้ำหรืออากาศ เป็นตัวนำพาความร้อนออกไปจากผักและผลไม้ โดยปัจจัยของการทำให้ผัก และผลไม้เย็นขึ้นอยู่กับ

- (1) ความสามารถในการนำความร้อนของผักและผลไม้ ถ้าผักและผลไม้นำความร้อนได้ดี อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็ว
- (2) ความจุความร้อนของผักและผลไม้ ถ้าผักและผลไม้มีความจุความร้อนมาก อุณหภูมิจะลดลงช้า

ความแตกต่างของผักและผลไม้กับบรรยากาศภายนอก ถ้ามีความแตกต่างของบรรยากาศ และผักผลไม้มาก จะทำให้อุณหภูมิช่วงแรกในการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป ความแตกต่างอุณหภูมิของบรรยากาศของผักและผลไม้ลดลง จะทำให้มีมีการลดลงของอุณหภูมิได้ช้า หากต้องการทำให้ไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิของผักและผลไม้ลดลงนั้นต้องใช้เวลายาวนานมาก ดังนั้นหาต้องการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้โดยใช้เวลาน้อยจึงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางที่มีอุณหภูมิ ต่ำกว่าอุณหภูมิของผักและผลไม้มาก แต่ใดๆแล้วอุณหภูมิของตัวกลางนั้นต้องไม่ทำให้ผักและผลไม้ เสื่อมสภาพและเกิดการเสียหาย

วิธีการต่างที่จะทำให้ผักและผลไม้เย็นมีได้หลายวิธีดังนี้

2.6.1 การทำให้เย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง

วิธีนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น การเก็บอาหารไว้ในตู้เย็น อาหารจะถูกทำให้เย็นลงผ่านอากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งจะต่างจากห้องเย็น โดยตู้เย็นจะมีอากาศหมุนเวียนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องสำหรับใส่ผักและผลไม้ แต่ในห้องเย็นเกิดการหมุนเวียนของอากาศมากกว่า เนื่องจากมีพัดลมเป่าตลอดเวลา ทำให้มีความสามารถในการลดความร้อนได้มากกว่าเนื่องจากมีการ นำและการพาของอากาศจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า วิธีการทำให้เย็นโดยใช้อากาศเป็น ตัวกลางสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทดังนี้

2.6.1.1 รুমคูลลิ่ง

การใช้ห้องเย็นเป็นวิธีสำหรับการลดอุณหภูมิผักและผลไม้ที่ไม่ต้องใช้วิธีการพิเศษแต่อย่างใด นอกจากนี้ยังสามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว เพราะใช้อากาศซึ่งเป็นตัวกลางหมุนเวียนรอบๆ ภาชนะที่ใส่ผักและผลไม้ โดยสามารถเพิ่มอัตราการไหลเวียนของอากาศ ตำแหน่งของภาชนะบรรจุผัก และผลไม้ให้ตรงกับทิศทางของอากาศที่ไหลเวียน จึงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้ อย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากนี้ถ้าภาชนะที่บรรจุผักและผลไม้มีช่องระบายอากาศมากจะสามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ได้รวดเร็ว เช่นกันกับการทำความเย็นที่เห็นใน ปัจจุบันนี้จะต้องอาศัยตู้ คอนเทนเนอร์ เช่น รถบรรทุกหรือรถไฟเรียกว่า รุมคูลลิ่ง วิธีนี้มี ข้อจำกัด คือต้องใช้กำลังในการทำความเย็นค่อนข้างสูงจึงไม่เป็นที่นิยมเพื่อรับสินค้าที่ไม่ผ่านการ ทำความเย็นมาก่อน

2.6.1.2 ฟอสแอร์คูลิ่ง

เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการของการนำและการพา ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทำให้ผักและผลไม้เย็นตัวขึ้นอยู่กับโอกาสที่อากาศภายนอกจะเข้าไปสัมผัสกับผักและผลไม้ เพื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนออกไป โดยมีหลักการคือให้อากาศไหลผ่านไปยังผักและผลไม้ให้ทั่วถึงอย่างรวดเร็ว โดยผักและผลไม้ที่ถูกบรรจุในกล่องและนำไปเรียงอย่างเป็นระเบียบ ตรงกลางจะมีพัดลมดูดอากาศ และใช้ผ้าใบปิดช่องระหว่างแถวที่วางกล่องบรรจุผักและผลไม้ อากาศจะถูกดูดออกสู่ภายนอกโดยตรง กระบวนการนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของผักและผลไม้ดี โดยใช้เวลานับวันเพียง 1 ใน 4 หรือ 1 ใน 10 ของเวลาที่ใช้ในรูปคูลิ่ง โดยมีปัจจัยคือความเร็วของอากาศ และชนิดของผักและผลไม้ โดยวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับผักและผลไม้ที่มีความบอบบางในการใช้น้ำเป็นตัวกลาง อาจประยุกต์ขึ้นจากห้องเย็นธรรมดา และใช้ได้ผลดีกับผักและผลไม้ที่มีปริมาณไม่มากนัก ในปัจจุบันสามารถทำความเย็นให้เกิดระบบหมุนเวียนอากาศจากล่างขึ้นบนในตู้คอนเทนเนอร์ได้เป็นอย่างดีเช่นกัน

2.6.2 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง

มีการใช้น้ำเป็นตัวกลาง เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติความจุความร้อนสูง และเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถทำให้ผักและผลไม้เย็นตัวลงได้ดีกว่าการใช้อากาศเป็นตัวกลาง โดยจะขึ้นกับพื้นที่ผิวที่ผักและผลไม้สัมผัสกับน้ำ และขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมินี้จะต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผักและผลไม้ การลดความเสียหายของผักและผลไม้สามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การยกจุ่มหรืออาจใช้สายพานเพื่อให้ผักและผลไม้เคลื่อนที่และมีน้ำเย็นไหลผ่าน โดยมีจุดสำคัญคือ การไหลเวียนของน้ำจะต้องวางพอน้ำที่สัมผัสกับผักและผลไม้อย่างทั่วถึง และต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำได้อย่างค่อนข้างคงที่ และน้ำที่ใช้จะต้องปราศจากเชื้อโรคเพื่อไม่เป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อโรคที่อาจเกิดขึ้นภายหลังได้

2.6.3 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำแข็ง

เป็นวิธีที่ใช้น้ำแข็งจะถูกหมุดเป็นก้อนเล็กๆ เพื่อใช้เป็นตัวกลางให้ผักและผลไม้เย็นลงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานาน เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องทำความเย็น โดยหลักการการใช้น้ำแข็งน่าจะสามารถลดความเย็นลงได้อย่างรวดเร็ว แต่ในทางปฏิบัติ น้ำแข็งไม่สามารถเข้าไปสัมผัสกับผักและผลไม้ได้อย่างทั่วถึง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำให้ผักและผลไม้มีอุณหภูมิที่ต่ำลง เนื่องจากการเกิดช่องว่างระหว่างผลไม้ และน้ำแข็งที่ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในผิวของผลไม้ได้ ซึ่งกลายเป็นสิ่งกีดขวางในการถ่ายเทความร้อนระหว่างผักและผลไม้กับน้ำแข็งจึงทำให้อุณหภูมิ ผลไม้ในอุณหภูมิได้ช้า

ปัจจัยในการเลือกวิธีการทำความเย็นให้กับผักและผลไม้มีดังนี้

(1) ความบอบบางและความทนทานของผักและผลไม้ ผักและผลไม้ที่มีความบอบบางได้รับการกระทบกระเทือนอาจเกิดความเสียหายกับผักและผลไม้ได้ เช่น สตอเบอร์รี่ไม่ควรใช้การทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง เนื่องจากสตอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีผิวบอบบาง และเกิดเชื้อราได้ง่าย ซึ่งอาจก่อให้เกิดรอยขีดและอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อราในน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางอีกด้วย

(2) ภาชนะบรรจุผักและผลไม้ที่ใช้วิธีการใช้อากาศเป็นตัวกลาง จะต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอ และภาชนะที่บรรจุผักและผลไม้ที่ใช้วิธีการใช้น้ำเป็นตัวกลาง จะต้องมีความสามารถในการทนต่อน้ำ และไม่เสียรูปเมื่อผ่านกระบวนการนี้ด้วย

(3) ความเร็วในการจัดการกับผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงมือผู้บริโภค ผักและผลไม้ที่ใช้เวลาขนส่งจนถึงมือผู้บริโภคสั้นก็ไม่จำเป็นต้องใช้ความเย็น แต่ในทางกลับกันถ้าใช้เวลาขนส่งผักและผลไม้มานาน อาจต้องเลือกวิธีที่ใช้เวลาในการทำความเย็นนั้นสั้นที่สุด [10]

2.7 การเก็บรักษาผักและผลไม้

การเก็บรักษาผักและผลไม้ที่มีเป้าหมาย เพื่อยืดอายุออกไปให้นานที่สุดจำเป็นต้องอาศัยหลักการต่างๆ ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องตามหลักเหมาะสม และการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อคงความสดของผักและผลไม้ จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยภายนอกในการเก็บรักษาผักและผลไม้สดดังนี้

2.7.1 อุณหภูมิ

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาคุณภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวคือ อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิจะส่งผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในผักและผลไม้ ถ้ามีการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นการกระตุ้นการหายใจ การคายน้ำ การสร้างเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ ภายในผักและผลไม้ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียสภาพได้ง่าย จึงต้องมีการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่อุณหภูมิที่ตามนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายกับผักและผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผักและผลไม้ในเขตร้อนซึ่งอาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว เช่น เมื่อน้ำกล้วยเก็บไว้ในตู้เย็นจะมีการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาล นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ตามปริมาณความชื้นรอบผักและผลไม้ อุณหภูมิที่ต่ำจะช่วยชะลอการเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียบนผักและผลไม้ได้ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญในการประโยชน์ของผักผลไม้ ออกไปให้นานที่สุด

2.7.2 ความชื้น

ปริมาณไอน้ำในอากาศเป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียน้ำของผลิตผล ถ้าความชื้นหรือปริมาณน้ำในอากาศในสภาพการเก็บรักษาสูงจะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำออกจากผักและผลไม้ ดังนั้นสภาพการเก็บรักษาจึงมักจัดให้อยู่ในความชื้นสูงเสมอแต่ในทางตรงกันข้ามในสภาพที่มีความชื้นสูง เชื้อราต่างๆที่มีอยู่บนผักและผลไม้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียหายได้ง่าย ดังนั้นการเก็บรักษาจึงต้องมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้พอเหมาะ เพื่อไม่ให้มีน้ำออกจากพื้นที่มากเกินไปแต่ในขณะเดียวกันต้องไม่ให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆได้ [10]

2.7.3 องค์ประกอบของบรรยากาศ

การหายใจของพืชผักและผลไม้จะต้องอาศัยออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักและผลไม้ที่กำลังเจริญเติบโต ส่วนผักและผลไม้ที่ถูกเก็บเกี่ยวแล้วไม่ต้องการออกซิเจนมากนัก เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจ และยืดอายุของผักและผลไม้ได้ ถ้ามีปริมาณออกซิเจนที่น้อยเกินไป อาจเกิดการหายใจแบบไม่อาศัยออกซิเจนได้ซึ่งจะทำให้ผักและผลไม้ เกิดการเน่าเสียหายได้ อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการหายใจของผักและผลไม้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หากมีปริมาณมากจะช่วยยืดอายุของผักและผลไม้ได้ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เกิดการผิดปกติของการหายใจ ทำให้เกิดการเน่าเสียหายได้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรจัดบรรยากาศในการเก็บรักษาผักและผลไม้ให้พอเหมาะสำหรับผักและผลไม้แต่ละชนิด [10]

2.8 สารเคลือบผิวผักและผลไม้

การเคลือบผิวผักและผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวเป็นกระบวนการป้องกันการสูญเสียน้ำและการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ [11]

2.8.1 ความสำคัญของสารเคลือบผิวผักและผลไม้

สารเคลือบผิวผักและผลไม้ ได้มาจากไขผสมทั้งที่เป็นไขจากแหล่งตามธรรมชาติและที่สังเคราะห์ เพื่อช่วยปิดบังรูรอยขีดข่วนที่ผิวผลไม้ ซึ่งเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บเกี่ยว ทดแทนไขธรรมชาติที่หลุดออกระหว่างการทำความสะอาด และช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ให้ยาวนานขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการเก็บเกี่ยว การเคลือบยังทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ตัดสินใจซื้อสินค้าจากรูปลักษณ์ภายนอกเพราะความเงางามสีส้มแวววาว นอกจากนี้สารเคลือบผิวยังปกป้องการสูญเสียน้ำอีกด้วย [12]

2.8.2 ประโยชน์ของสารเคลือบผิวผักและผลไม้

ประโยชน์ของสารเคลือบผิวผักและผลไม้คือ ใช้ทดแทนไขที่เคยมียู่ ปิดช่องต่างๆตามธรรมชาติ เพื่อลดการสูญเสีย น้ำ และการแลกเปลี่ยนแก๊สให้น้อยลง ทำให้ปริมาณออกซิเจนเข้าสู่ผักและผลไม้ เพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ และทำให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลของเอทิลินที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปขัดขวางการทำงานของเอทิลิน และนอกจากนี้สารเคลือบผิวจะทำการยับยั้งการสร้างเอทิลิน ที่เกิดขึ้นหลังจากการเคลือบผิวแล้ว [13]

2.8.3 ชนิดของสารเคลือบผิว

โดยทั่วไปสารเคลือบผิวมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือส่วนที่เป็นสารเคลือบผิวโดยตรงซึ่งมักเป็นไขมัน ตัวทำละลาย และสารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งทำให้ไขมันและน้ำรวมตัวกันได้อย่างถาวร

ไขที่ใช้สำหรับการเตรียมสารเคลือบผิวสามารถแบ่งได้หลายชนิดตามแหล่งที่มาต่างๆดังนี้

(1) สารเคลือบผิวที่ได้จากพืช มักใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวส่วนใหญ่ มีราคาถูกให้ความมั่นใจว่าต่างไม่หลุดออกได้ง่าย ส่วนสารเคลือบผิวที่ได้จากพืชอื่นๆมักเป็นไขมันจากพืช เช่น น้ำมันพืชต่างๆ

(2) สารเคลือบผิวที่ได้จากสัตว์ เช่น เซลล์หรือครั่ง สารเคลือบผิวที่มีความมันวาวสูงมากแต่มีข้อเสียคือจะหลุดออกได้ เมื่อนำผักและผลไม้มาจากห้องเย็นแล้วเกิดหยดน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์

(3) เพื่อผิวจากไปต่อหรือยังมีคุณสมบัติเป็นของแข็ง นุ่มลื่นไม่มีกลิ่นสามารถใช้ร่วมกับสารเคลือบผิวจากพืชและสัตว์ได้

(4) สารเคลือบผิวที่เป็นแว็กซ์สังเคราะห์ คุณสมบัติช่วยควบคุมการสูญเสีย น้ำได้ดีมีความมันวาวปานกลางมีราคาถูก [13]

2.8.4 สารเคลือบผิวผลไม้ที่สามารถบริโภคได้

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น โดยเป็นแนวทางของวิถีเกษตรอินทรีย์ ซึ่งต้องการบริโภคอาหารที่ทำมาจากวิถีธรรมชาติมากที่สุด และพยายามหลีกเลี่ยงการบริโภคสารเคมีสังเคราะห์ต่างๆ การเคลือบผิวผักผลไม้ทำให้ผู้บริโภคยังมีความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัย จึงได้มีแนวคิดในการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้มาพัฒนาเป็นสารเคลือบผิวผักผลไม้ เรียกว่า สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เช่น การใช้แป้งน้ำมันและสารอื่นๆมาเคลือบผิวผักและผลไม้และทำให้ผู้บริโภคมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [2]

สารเคลือบผิวผักและผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช สัตว์ เช่น ไขมันพืช น้ำมันพืช วิตามิน โปรตีน และสารสกัดจากสาหร่ายทะเล เป็นต้น และสารเหล่านี้นำมาเคลือบผิวผักและผลไม้ อาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ [3]

2.8.4.1 ข้อดีของสารเคลือบผิวผักและผลไม้ที่บริโภคได้

- (1) มีราคาถูกลงเมื่อเทียบกับการใช้แผ่นพลาสติกที่ใช้ของผักและ ผลไม้ชนิดต่างๆ
- (2) สามารถล้างออกง่ายๆ หรือสามารถบริโภคได้เลย ทำให้ปริมาณขยะจากแผ่นพลาสติกลดลง
- (3) ทำให้ผักและผลไม้ดูสวยงาม และดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้
- (4) สารเคลือบผิวบางชนิดสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผักและผลไม้แก่ผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะสารเคลือบผิวผักและผลไม้ในกลุ่มโปรตีน
- (5) ผักผักและผลไม้บางชนิดเป็นสิ่งเหลือใช้จากสิ่งต่างๆ เช่น การใช้สารสกัดโคโคซานจากเปลือกกุ้ง
- (6) สารเคลือบผิวผักและผลไม้ในกลุ่มประเภทไขมันจะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำทำให้ยืดอายุผักและผลไม้ได้
- (7) สารเคลือบผิวประเภทของแข็งสามารถช่วยชะลอการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ [13]

2.9 อิมัลชัน (Emulsion)

2.9.1 ความหมายของอิมัลชัน

อิมัลชัน (Emulsion) หมายถึง ระบบการกระจายตัวของสาร (Dispersed system) ที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อยสองชนิด สามารถแบ่งเป็นสองวิธีกาคือ วิธีกาภายในและวิธีกาภายนอก ซึ่งทั้งสองวิธีกาจะไม่กระจายตัวเข้าหากันและไม่ละลายเข้าด้วยกัน โดยการที่นำของเหลวทั้งสองวิธีกากระจายตัวเข้าหากันจนเป็นเนื้อเดียวกันต้องอาศัยสารก่ออิมัลชัน(Emulsifier)

2.9.2 ระบบการกระจายตัวของสาร (Dispersed system)

ระบบการกระจายตัวของสาร (Dispersed system) เป็นระบบที่มี วัฏภาคอยู่ร่วมกันดังนี้

(1) วัฏภาคภายใน (Internal phase ,Discontinuous phase) คือ วัฏภาคที่ไปกระจายตัวในอีกวัฏภาคหนึ่ง

(2) วัฏภาคภายนอก (External phase ,Continuous phase) คือ วัฏภาคที่ให้อีกวัฏภาคหนึ่งกระจายตัวอยู่

ระบบการกระจายตัวของสาร (Dispersion system) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เฟสของน้ำ (Oil phase) และเฟสของน้ำมัน (water phase)

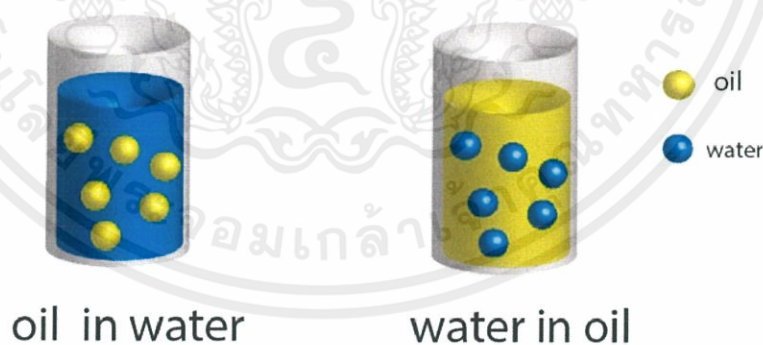
2.9.3 ชนิดของอิมัลชัน

2.9.3.1 คอนเวนชันนอลอิมัลชัน (Conventional emulsion)

สามารถแบ่งได้เป็นอีกสองประเภทหลักๆคือ

(1) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion, O/W) เป็นอิมัลชันที่มีน้ำมันเป็นวัฏภาคภายใน โดยที่น้ำเป็นวัฏภาคภายนอก

(2) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion (W/O) เป็นอิมัลชันที่มีน้ำเป็นวัฏภาคภายใน โดยที่น้ำมันเป็นวัฏภาคภายนอก



รูปที่ 2.2 ประเภทของอิมัลชันแบบคอนเวนชันนอลอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3.2 มัลติเฟิลอิมัลชัน (Multiple emulsion)

สามารถแบ่งได้เป็นอีกสองประเภทหลักๆคือ

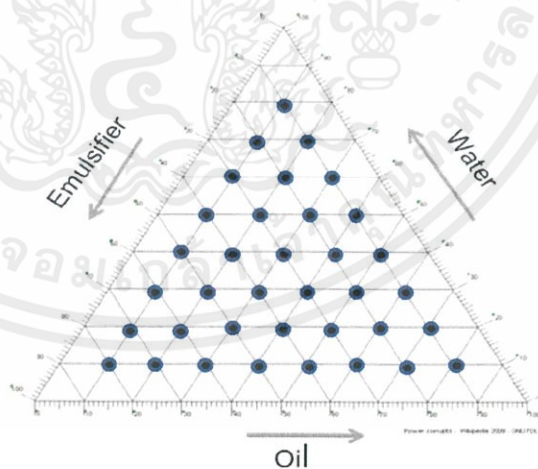
(1) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water in oil in water emulsion, W/O/W) เป็นอิมัลชันที่มีน้ำเป็นวัฏภาคภายในและมีน้ำมันเป็นวัฏภาคภายนอกที่ละลายอยู่ในเฟสน้ำ สามารถเจือจางได้ด้วยการผสมน้ำ มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน

(2) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (Oil in water in oil, O/W/O) เป็นอิมัลชันที่มีน้ำมันเป็นวัฏภาคภายในและมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอกที่ละลายอยู่ในเฟสน้ำมัน สามารถเจือจางได้ด้วยการผสมน้ำมัน มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมันในน้ำ



รูปที่ 2.3 รูปภาพแสดงชนิดของอิมัลชันแบบมัลติเฟิลอิมัลชัน

2.9.3.3 เทอনারีเฟสไดอะแกรม



รูปที่ 2.4 แผนภูมิเทอনারีเฟสไดอะแกรม

(ที่มา: <https://hackingmaterials.com/2014/05/08/pdcomic/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแผนภูมิที่สามารถบ่งบอกถึงอัตราส่วนของอิมัลชันในเฟสน้ำมัน เฟสน้ำ และเฟสอิมัลซิไฟเออร์ โดยแต่ละด้านจะสามารถบ่งบอกปริมาณของเฟสน้ำมัน เฟสน้ำ และเฟสอิมัลซิไฟเออร์ แต่ละจุดที่เส้นของเฟสน้ำมัน เฟสน้ำ และเฟสอิมัลซิไฟเออร์ตัดกัน จะเป็นปริมาณของเฟสน้ำมัน เฟสน้ำ และเฟสอิมัลซิไฟเออร์ที่ต้องใช้ในแต่ละสูตร ซึ่งในแต่ละสูตรจะมีค่า HLB ที่ต่างกันตามสัดส่วนที่แตกต่างกัน

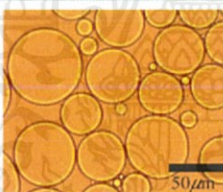
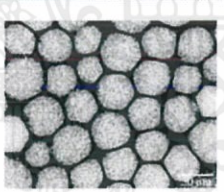
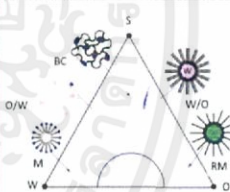
2.9.3.4 ไมโครอิมัลชัน

เป็นอิมัลชันที่มีขนาดของอนุภาคภายในที่ 1-100 นาโนเมตร เป็นระบบที่มีความเสถียรภาพที่ดีทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic) สามารถเกิดขึ้นได้เอง

2.9.3.5 นาโนอิมัลชัน

เป็นอิมัลชันที่มีขนาดของอนุภาคภายในที่ 100-500 นาโนเมตร มีความคงสภาพที่อุณหภูมิต่างและระยะเวลาในความคงสภาพมากกว่าอิมัลชัน ปกติใช้การเตรียมโดยใช้พลังงานระดับสูงมีความสามารถในการกระจายตัวบนพื้นผิวได้อย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของอิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน นาโนอิมัลชัน

	macroemulsions	nanoemulsions	microemulsions
			
size	1-100 μm	20-500 nm	10-100 nm
shape	spherical	spherical	spherical, lamellar
stability	thermodynamically unstable, weakly kinetically stable	thermodynamically unstable, kinetically stable	thermodynamically stable
method of preparation	high & low energy methods	high & low energy methods	low energy method
polydispersity	often high (>40%)	typically low (<10-20%)	typically low (<10%)

(ที่มา : <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2016/sm/c5sm02958a>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 ไฮโดรฟิลิก ลีโฟฟิลิก บาลานซ์ (*The hydrophilic-lipophilic balance, HLB*)

เป็นระบบที่มีการคำนวณชนิดและอัตราส่วนของสารก่ออิมัลชัน(Emulsifier) เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2.2 ค่าไฮโดรฟิลิก ลีโฟฟิลิก บาลานซ์ตามการนำไปใช้งาน

HLB Range	การนำไปใช้งาน
4-6	W/O emulsifiers
7-9	Wetting agents
8-18	O/W emulsifiers
13-15	Detergents
10-18	Solubilizers

โดยสามารถคำนวณHLBได้จากสมการที่2.1

$$\% A = 100 \times (X - \text{HLB}_B) / \text{HLB}_A - \text{HLB}_B \quad (2.1)$$

เมื่อ %A = ร้อยละสัดส่วนของสารก่ออิมัลชันตัวแรก

X = HLBที่ต้องการนำไปใช้งาน

HLB_A = ค่าHLBของสารก่ออิมัลชันตัวแรก

HLB_B = ค่าHLBของสารก่ออิมัลชันตัวที่สอง

%B = ร้อยละสัดส่วนของสารก่ออิมัลชันตัวที่สอง (%B = 100-%A)

2.9.5 กระบวนการเตรียมอิมัลชัน

2.9.5.1 การเตรียมอิมัลชันโดยใช้พลังงานสูง (High energy emulsification methods)

เป็นการเตรียมอิมัลชันให้ได้หยดขนาดเล็กกว่าไมโครเมตร จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงเพื่อให้เกิดการแตกตัวในขนาดนาโนเมตร หากมีพลังงานไม่มากพอจะไม่เกิดการแตกตัวในขนาดระดับนาโนเมตรและจะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนเครื่องผสมที่นิยมใช้คือเครื่องปั่นความเร็วสูง (high shear stirring) เครื่องปั่นผสมเนื้อเดียวความดันสูง (High Pressure Homogenizer) และเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasound generator) ขนาดของอนุภาคของนาโนอิมัลชันจะขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5.2 การเตรียมอิมัลชันโดยใช้พลังงานต่ำ (Low energy emulsification methods)

เป็นการเตรียมอิมัลชันโดยใช้เทคนิครวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกัน(Homogenization Dispersing)โดยใช้เครื่องฮอโมจีไนเซอร์แบบอนาล็อก(Analog homogenizer)เพื่อลดขนาดของเม็ดไขมันให้มีขนาดเล็กลง ขนาดของอนุภาคของอิมัลชันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเคมีทางกายภาพของระบบการผลิต หรือการเปลี่ยนแปลงวิฤภาคของเฟสอิมัลซิไฟเออร์[14]

2.10 สารลิโมนีน

สารลิโมนีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเทอร์พีนอยด์(terpenoid)ในกลุ่มโมโนเทอร์พีน (monoterpenes, C-10) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยของพืชตระกูลส้ม ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางอย่างแพร่หลาย

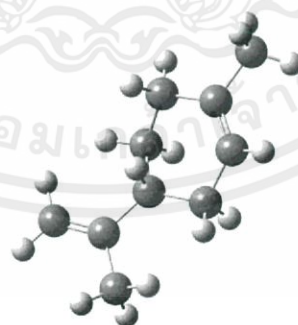
2.10.1 สมบัติทั่วไปของสารลิโมนีน

ชื่อทางเคมีทั่วไป : Limonene , Dipentene

ชื่อUPAC :Methyl-4-prop-1-en-2-yl-cyclohexene,1-Methyl-4-(1-methylethenyl)cyclohexene

สูตรโมเลกุล : C₁₀H₁₆

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.5 รูปภาพแสดงโครงสร้างของลิโมนีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 สมบัติของลิโมเนน

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงตารางคุณสมบัติของลิโมเนน

สมบัติหรือค่าที่พบ	ลักษณะหรือค่าที่พบ
ความถ่วงจำเพาะ(25°C)	0.838 - 0.843
จุดเดือด	176
จุดหลอมเหลว	-96
จุดวาบไฟ	> 43
ความหนาแน่น	4.3
ความดันไอ(20°C)	< 2mmHg
สถานะ	ของเหลว
สี	ไม่มีสีถึงสีเหลือง
การละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
กลิ่น	คล้ายมะนาว

(ที่มา : ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์)

2.11 การต้านอนุมูลอิสระ

2.11.1 อนุมูลอิสระ (free radical)

อนุมูลหรืออนุมูลอิสระ เป็นอะตอมหรือโมเลกุล หรือสารประกอบที่พบอิเล็กตรอนเดี่ยว อยู่ในออร์บิทัล ชั้นนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูง นอกจากนี้ยังรวมถึงโมเลกุลออกซิเจนที่เป็นอนุมูลอิสระจำนวน 2 อิเล็กตรอน และในแต่ละออร์บิทัลจะมีอิเล็กตรอนที่แยกกันอยู่เป็นเดี่ยวๆ ทั้งนี้ในการสปีน หรือการหมุนรอบตัวของอิเล็กตรอน ทั้งสองจะสปีนแบบคู่ขนานในที่เดียวกัน อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าและสถานะที่มีประจุไฟฟ้าของอนุมูล มีทั้งประจุบวกและประจุลบสัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลหรืออนุมูลอิสระ คือ อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูล ซึ่งจัดแสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล A^{\cdot} อนุมูล $A^{\cdot-}$ และอนุมูล $A^{\cdot+}$ โดยเฉพาะอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยไวต่อการทำปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากอิเล็กตรอนเดี่ยวที่มีความไม่เสถียรและพยายามจับคู่กับอิเล็กตรอนเดี่ยวอื่น ดังนั้นอนุมูลอิสระจึงมีคุณสมบัติเฉพาะคือ มีความไวในการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังคงมีอนุมูลอิสระบางชนิดมีคุณสมบัติ ความเสถียรและไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาสามารถคงอยู่ในสภาพอนุมูลได้นาน อนุมูลอิสระมีความเสถียรมีอยู่จำนวนน้อยชนิดมาก การเกิดอนุมูลอิสระมีได้หลายกลไกที่แตกต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแตกพันธะโควาเลนต์แบบโฮโมไลซิส



- การเพิ่มอิเล็กตรอน 1 ตัวให้แก่อะตอมที่เป็นกลาง (ทางไฟฟ้า)



- สูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัว จากอะตอมที่เป็นกลาง (ทางไฟฟ้า)



2.11.2 ชนิดและการเรียกชื่ออนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง

อนุมูลอิสระหรืออนุมูลเป็นศัพท์นิยมใช้ทั้งคู่เหตุผลที่มีการตัดคำว่าอิสระ เนื่องจากคุณสมบัติที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาทำให้อนุมูลไม่คงตัวอยู่ในสภาวะอิสระได้ ส่วนการที่ยังคงคำว่าอิสระไว้ เนื่องจากต้องการเน้นให้เห็นถึงความไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะความเป็นอิเล็กตรอนเดี่ยวเป็นอิสระที่ไม่มีคู่ นอกจากนี้การศึกษาและงานวิจัยยังพบว่ามีสารชนิดที่ไม่อยู่ในสภาวะอนุมูลแต่มีความเกี่ยวข้องกับอนุมูล และมีความไวต่อปฏิกิริยาสูงสารเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารให้กำเนิดอนุมูลเนื่องจากมีความคงตัวต่ำย่อยสลายได้ง่าย เช่น โอโซนหรือสารที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นเกิดเป็นอนุมูล เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รวมถึงสารที่เป็นผลผลิตของอนุมูลที่มีอันตรายสูง ได้แก่ ออกไซด์ซีโนไตรท์ ซึ่งเรียกรวมว่า สารไวต่อปฏิกิริยา

อนุมูลอิสระ และสารที่เกี่ยวข้องทางด้านชีววิทยาถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือกลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ และกลุ่มที่มีคลอรีน [16]

2.11.3 ดัชนีชี้วัดจากความความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน

ภายในเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิดจึงมีกระบวนการ เพื่อควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดการเกิดอนุมูลอิสระที่เกินสมดุลที่ทำให้เกิดอันตราย กระบวนการป้องกันประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหรือต้านออกซิเดชัน ซึ่งมีทั้ง อัลบูมิน ที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และวิตามินซีและยูริกที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก การใช้ดัชนีจากการหาปริมาณในสารต้านออกซิเดชันเดี่ยวๆ หรือเป็นการวัดปริมาณการที่เกิดสารชีวโมเลกุล ที่ถูกอนุมูลอิสระทำให้เสียหายเป็นดัชนีวัดสภาวะสมดุลว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้น อาจไม่เป็นเพียงค่าสะท้อนถึงภาพรวมของสภาวะออกซิเดชันของร่างกายหรือสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงมีการหาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันซึ่งเป็นองค์ประกอบรวมของสภาวะรีดอกซ์ในการวิเคราะห์มีหลักการที่สำคัญ 2 วิธีคือ

(1) การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen Atom Transfer ,HAT)

เป็นกระบวนการที่วิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน จะวัดความสามารถของการต้านออกซิเดชันในการขจัดอนุมูลอิสระโดยให้อะตอมไฮโดรเจน วิธีนี้จะหาพลังงานที่ทำให้พันธะของหมู่ที่ให้อิเล็กตรอนไฮโดรเจนแตกออก (Bond Dissociation Energy ,BDE)

(2) การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็กตรอนเดี่ยว (Electron Transfer ,ET หรือ SET)

เป็นกระบวนการที่วิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็กตรอนเดี่ยว เป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์ กับสารอื่นได้แก่โลหะและอนุมูล

ตารางที่ 2.4 วิธีต่างๆที่ใช้กระบวนการวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชันการวิเคราะห์แบ่งเป็นวิธีการจัดการวัดโดยอ้อมและโดยตรง

การวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน	วิธีวิเคราะห์
Oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC) Photochemiluminescence assay (PCL)	วิธีโดยอ้อม HAT
TEAC I (ABTS ^{•+} /metmyoglobin)	วิธีโดยอ้อม SET
TEAC II (ABTS ^{•+} with manganese dioxide MnO ₂)	วิธีโดยอ้อม SET
TEAC III (ABTS ^{•+} with potassium persulfate K ₂ S ₂ O ₈)	วิธีโดยอ้อม SET
diphenyl-1-picrylhydrazyl assay (DPPH)	วิธีโดยตรง SET
Total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP)	วิธีโดยอ้อม HAT
The ferric reducing ability of plasma	วิธีโดยตรง SET

วิธี ORAC เป็นการหาดัชนี TAC เป็นกระบวนการวิเคราะห์หาความสามารถของสารที่ทดสอบหรือเลือด ที่ใช้ในการยับยั้งอนุมูลเปอร์ออกซีไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการหยุดปฏิกิริยาถูกใช้ด้วยกลไก HAT การวิเคราะห์จังหวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ โดยอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยาเปลี่ยน สารฟลูออเรสเซนส์เป็นสารที่ไม่ให้ แสงฟลูออเรสเซนส์ดังนั้นเมื่อเติมสารต้านอนุมูลลงไปจะลดอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำให้มีแสงฟลูออเรสเซนส์เพิ่มขึ้น ตามปริมาณและความแรงของสารที่ทดสอบที่เติมลงไป

วิธี TEAC และวิธี FRAP เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ของอะตอม ซึ่งเกิดขึ้นโดยใช้เวลารายใน 4-6 นาที แต่ในการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันจากพืชจำพวกโพลีฟีนอล จะพบค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร จะเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการวัดครั้งเดียวตามเวลาที่กำหนดอาจไม่ใช่ค่าที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์แต่วิธี FRAP อาจไม่ใช่ค่าที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ แต่วิธีมีข้อดีมีวิธีที่ง่ายใช้เวลาสั้น ราคาถูก และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่มีข้อเสียคือ กลไกของปฏิกิริยาที่ใช้วิเคราะห์ไม่เกี่ยวข้องกับกลไกในร่างกาย

วิธี FRAP วิธีนี้ใช้สารประกอบเอโซ ABTS ABAP หรือ AAPH ซึ่งสลายตัวให้อนุมูลอนุมูลเปอร์ออกซี ซึ่งหาปริมาณได้จากการที่อนุมูลอิสระขึ้นไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารABTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

มีหลักการโดย DPPH เป็น สเตเบิลเรดิคอล ในตัวทำละลายเอทานอล (ethanol) สารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร

โดย DPPH• จะเกิดปฏิกิริยากับ แอนติออกซิแดนท์ (AH) หรือกับ เรดิคอล สปีชีส์ (R•)



เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สีของสารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้เป็นมาตรฐาน คือ BHT ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงจะมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

ข้อดีของ DPPH• วิธีนี้มีข้อดีคือง่ายใช้เครื่องมือทั่วไปนิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ โดยมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถวิเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในย่านเดียวกัน และอนุมูล DPPH• มีความไม่คงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถบ่งบอกความไวของอนุมูลได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของ DPPH• ที่แสดงจะเห็นว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วง และหมู่ไนเตรทที่ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรง แต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูล หรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริงทั้งๆที่สารต้านอนุมูลนั้นมีฤทธิ์ดีในการขจัดอนุมูลเปอร์ออกซี นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สีของดี DPPH• จางลงได้อีกด้วย [17]

2.12 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นการตรวจสอบในช่วงรังสียูวีหรือช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยสารละลายตัวอย่างที่อยู่ในเครื่องมือ ความยาวคลื่นนั้นมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณสารที่อยู่ในสารละลาย เมื่อทำการวัดปริมาณ ของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจาก แหล่งกำเนิด ที่ความยาว คลื่นค่าต่างๆตามกฎการดูดกลืนแสงเบียร์แลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโมเลกุลของสารที่อยู่ในสารละลายทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ จะให้ผลได้เพียงเบื้องต้น เพราะลักษณะของสเปกตรัมของสารแต่ละชนิดที่ได้จะมีความกว้างมาก และมีรายละเอียดมาก จึงต้องใช้เทคนิคอื่นๆในการร่วมวิเคราะห์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณด้วย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการทำกราฟมาตรฐาน ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้น ดังนั้นเมื่อสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารและ สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ได้จากกราฟ



(ที่มา :stri.or.th)

รูปที่ 2.6 เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.13 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle analyzer)

เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารที่เคลื่อนที่แบบบราวเนียน และมีลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลมของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ (LASER Diffraction) แสงเลเซอร์จะส่องผ่านไปยังอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอย อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวมีความโปร่งใสและมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจากอนุภาค จนเกิดการกระเจิงของแสงที่บริเวณผิวของอนุภาคได้และไม่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสารที่ต้องการวิเคราะห์แต่ต้องไม่เข้มข้นเกินไปจนเกิดการกระเจิงซ้ำกันหลายครั้ง (Multiple scattering) สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ในช่วง 0.04-500 ไมครอน



(ที่มา : SelectScience)

รูปที่ 2.7 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Gajanan Gundewadi และคณะ [19] มีวัตถุประสงค์ในงานวิจัย คือ พัฒนา น้ำมันโหระพาในนาโนอิมัลชัน ด้วยการใช้อิมัลซิฟายเออร์จากธรรมชาติและจากสังเคราะห์ เพื่อนำมา ยืดอายุการเก็บรักษา ด้านเชื้อราของกระเจี๊ยบ การสังเคราะห์นาโนอิมัลชันโดยใช้น้ำมันโหระพาด้วย กระบวนการอัลตราโซนิคเคชั่น หลังจากนั้นนำมาวัดขนาดอนุภาคและความเสถียรของอิมัลชันและมีการตรวจวัด TEM เพื่อยืนยันขนาดของอนุภาค หลังจากนั้นนำอิมัลชันมาเคลือบลงบนกระเจี๊ยบเพื่อดู ลักษณะทางกายภาพ การสูญเสียน้ำหนักทางกายภาพทดสอบความสดของ กระเจี๊ยบ ด้วยเครื่อง วิเคราะห์พื้นที่ผิว การเปลี่ยนแปลงไปของสีฝักกระเจี๊ยบ ด้วยเครื่อง ฮันเตอร์แลป สเปกโตรโฟโต มิเตอร์ และมีการเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อราของนาโนอิมัลชัน

และไม่โครอิมัลชันในงานเพาะเลี้ยงเชื้อรา นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงเชื้อราเพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราในฝักกระเจี๊ยบอีกด้วยซึ่งจากการทดลองพบว่า กระบวนการ สังเคราะห์นาโนอิมัลชันด้วยอัลตราโซนิคเคชั่นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันโหระพานาโน อิมัลชัน ที่ใช้อิมัลซิฟายเออร์ทั้ง 2 ชนิด กระเจี๊ยบที่เคลือบด้วย นาโนอิมัลชันลักษณะทางกายภาพสี ที่เปลี่ยนแปลงไป มีอัตราการสูญเสีย น้ำ และการยอมรับจากการทำแบบสอบถามการยอมรับที่ดีกว่า กระเจี๊ยบที่ไม่ได้ทำการเคลือบ นอกจากนี้นาโนอิมัลชันสามารถต้านเชื้อราได้ดีกว่าไม่โครอิมัลชัน

จากงานวิจัยของ Nithiya Rathanapanont [15] วัตถุประสงค์ในพัฒนาสารเคลือบผิวด้วย อิมัลชันน้ำมันพืช เพื่อชะลอการสุกและการแตกของผลทุเรียน โดยได้มีการผสมน้ำมันปาล์ม น้ำ และ โปแตสเซียมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่น แล้วนำอิมัลชันมาเคลือบทุเรียนเพื่อทดสอบการสูญเสีย น้ำหนัก การ เปลี่ยนแปลงของสีเปลือกทุเรียนโดยมีการแบ่งเป็นการให้คะแนน และมีการบันทึกจำนวนวันเมื่อผล ทุเรียนเริ่มแตกและหยุดการทดลองเมื่อผลทุเรียนเริ่มสุกอมจนบริโภคไม่ได้ พบว่าการเคลือบทุเรียน ด้วยอิมัลชันสามารถชะลอการสุกและลดการแตกของผลทุเรียน ลดการสูญเสีย น้ำหนักได้ แต่ถ้ามีปริมาณ ของน้ำมันมากจะสามารถชะลอการสุกได้มากแต่จะเกิดการผิติดกิดของการสุก

จากงานวิจัยของ พุฒิยา รัตนศิริวัฒน์ และคณะ [18] มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกรวมและศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพืชโดยนำเปลือกสีเขียวมา สกัดให้ได้สารสกัดยาเพื่อวิธีการสกัดเย็นสกัดร้อนและ สกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำ หลังจากนั้นนำมาวัดปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Foiln Cioaltea Assay และทำการทดสอบฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ,ABTS radical scavenging assay และ FRAP assay โดยจากงานวิจัยพบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีพืชน้ำมันฝรั่งด้วย วิธีการสกัดร้อนให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการสกัดเย็นและน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอที่ได้จาก การต้มกลั่นด้วยไอน้ำจากการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดหยาบจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกส้มโอทั้ง 2 สายพันธุ์พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีด้วยวิธีการสกัด ร้อนมีปริมาณมากกว่าการสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและเมื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ การต้านอนุมูลอิสระพบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีโดยวิธีการสกัดเย็นต้านอนุมูล อิสระ DPPH radical scavenging assay ABTS radical scavenging assay ได้ดีที่สุดซึ่งแสดงให้เห็น ว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบที่ได้จากธรรมชาติไม่มีความคงตัวต่อปัจจัย แวดล้อมต่างๆ ดังนั้นการประยุกต์การใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีการ ป้องกันและเปลี่ยนแปลงเพื่อช่วยรักษาประสิทธิภาพต้านอนุมูลอิสระภายใต้สภาวะการแปรรูปและการ เก็บรักษาอาหาร

จากงานวิจัยของAlejandra Acevedo-Fanic และคณะ [20] ได้กล่าวว่าในอุตสาหกรรม อาหารนาโนอิมัลชันเป็นการพัฒนาระบบกักเก็บของส่วนประกอบที่ไม่ชอบน้ำใน เช่น สารประเภท วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ รสชาติ เพื่อให้สารประกอบเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิมัลชัน แบบน้ำในน้ำมัน ทำให้เป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการขนส่งสารได้ดี นอกจากนี้การลดของ ขนาดหยดของน้ำมันให้อยู่ในระดับนาโนเมตร ยังเป็นการเพิ่มการกระจายตัวของน้ำมันต่อพื้นที่ผิว ของอาหารอีกด้วยทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเคลือบอีกด้วย

จากงานวิจัยของMohsen Radi และคณะ [21] ได้มีการศึกษาการใช้สารเคลือบผิวนา โนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มในสารละลายเพกติน เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาผล ส้ม จากการศึกษาพบว่าผลการสูญเสียน้ำของส้ม ในการเคลือบนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหย จากเปลือกส้มร้อยละ 0.5 และ 1 ในสารละลายเพกติน มีอัตราการสูญเสียที่น้อยกว่าอัตราการ สูญเสียของส้มที่เคลือบด้วยน้ำกลั่น

จากงานวิจัยของ Priyanka Singh และคณะ [22] ได้ทำการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ ของสารสกัดจากเปลือกส้มโอและเปลือกส้มเขียวหวาน มีสารดีแอล-ลิโมนีน (DL-Limonene) ร้อยละ 13 และ 90.66 ตามลำดับ และมีการทดสอบคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ทำลายอนุมูล อิสระดีพีพีเอช พบว่ามีค่า IC_{50} ของสารสกัดจากเปลือกส้มโอและเปลือกส้มเขียวหวานคือ 8.84 ไมโครลิตรต่อ มิลลิตรและ 9.45 ไมโครลิตรต่อมิลลิตร ตามลำดับ

จากงานวิจัยของMerve Bacanlı และคณะ [23] ได้มีการศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ของสารกรดฟีนอลิก ลิโมนีน (Phenolics limonene) ในส้มด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระด้วยโทร ลอกซ์ (Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC assay) โดยสารลิโมนีนจะมีคุณสมบัติ ในการต้านอนุมูลอิสระที่ความเข้มข้น 2-200 ไมโครโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

- (1) น้ำปลอดประจุ (Deionization water: DI)
- (2) น้ำมันปาล์ม (Plam oil)
- (3) เอทานอล (Ethanol; C₂H₅OH)
- (4) ดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH)
- (5) บิวทิลเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene; BHT)
- (6) โพลีซอร์เบต 80 (Polysorbate 80; Tween 80)
- (7) ซอร์บิแทนโมโนโอเลต (Sorbitan monooleate; Span 80)
- (8) ลิโมนีน (limonene)

3.1.2 อุปกรณ์

- (1) บีกเกอร์ (Beaker)
- (2) เครื่องชั่งสาร (Balance)
- (3) แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
- (4) ช้อนตักสาร (Spatula)
- (5) ไมโครปิเปต (Micropipette)
- (6) เครื่องอัลตราโซนิเคเตอร์ (Ultrasonicator)
- (7) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- (8) พาราฟินฟิล์ม (Paraffin Film)
- (9) เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter)
- (10) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- (11) กระดาษฟรอยด์ (Aluminium Foil)
- (12) กระดาษชั่งสาร (Weighing Paper)
- (13) เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer)
- (14) หลอดทดลอง (Culture tube)
- (15) เครื่องกวนสารแบบใบกวน (Overhead stirrer)
- (16) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การผลิตสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน

3.2.1 การผลิตสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน

(1) ผสมน้ำปลอดประจุและโพลีซอร์เบต 80 ด้วยเครื่องกวนสารแบบใบกวนในอัตราส่วนดังตารางที่ ก.1

(2) ผสมน้ำมันปาล์ม ลิโมนีนและ ซอร์บิทานโมโนลอเรต ในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 คนจนเข้ากัน และผสมเข้ากับสารในข้อที่ (1) ด้วยเครื่องกวนสารแบบใบกวนเป็นเวลา 10 นาที

(3) เข้าเครื่องอัลตราโซนิกเคเตอร์ (Ultrasonicator) ที่แอมพลิจูด 60 เป็นเวลา 15 นาที โดยมีการให้ความเย็นด้านล่าง

(4) สังเกตลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน ทดสอบ ขนาดของอนุภาค ดัชนี การกระจายตัวแบบผสม การต้านอนุมูลอิสระ และนำลิโมนีนอิมัลชันไปเคลือบผลไม้ เพื่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลไม้และ ทดสอบเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำของผลไม้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตลิโมนีนอิมัลชัน

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบผิวลิโมนีนอิมัลชัน

3.2.2.1 การทดสอบคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay)

(1) เตรียมสารละลายดีพีพีเอช (DPPH) ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอลโดยเตรียมสารละลาย 3 ตัวอย่าง

(2) เตรียมสารละลายมาตรฐานบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอล โดยเตรียมสารละลาย 3 ตัวอย่าง

(3) เจือจางลิโมนีนอิมัลชันในอัตราส่วนลิโมนีนต่อน้ำปลอดประจุ 1:10

(4) เตรียมความเข้มข้นของลิโมนีนอิมัลชันที่เจือจางแล้วในน้ำปลอดประจุดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยเตรียมความเข้มข้นละ 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นของลิโมนีนในการทดสอบสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

อัตราส่วนของลิโมนีนอิมัลชัน ต่อน้ำปลอดประจุ	ลิโมนีนอิมัลชัน (มิลลิลิตร)	น้ำปลอดประจุ (มิลลิลิตร)
1:9	1	9
2:8	2	8
3:7	3	7
4:6	4	6
5:5	5	5
6:4	6	4
7:3	7	3
8:2	8	2
9:1	9	1
10:0	10	0

(5) นำสารละลายดีพีพีเอช (DPPH) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายลิโมนีนอิมัลชัน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในทุกอัตราส่วนและใส่ในสารละลายมาตรฐานบิวทิเลตเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

(6) นำสารละลายเก็บไว้ในที่มืด 30 นาที

(7) นำสารละลายลิโมนีนอิมัลชัน และสารละลายมาตรฐานบิวทิเลตเตด ไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT) มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

(8) นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระตามสมการที่ 3.1

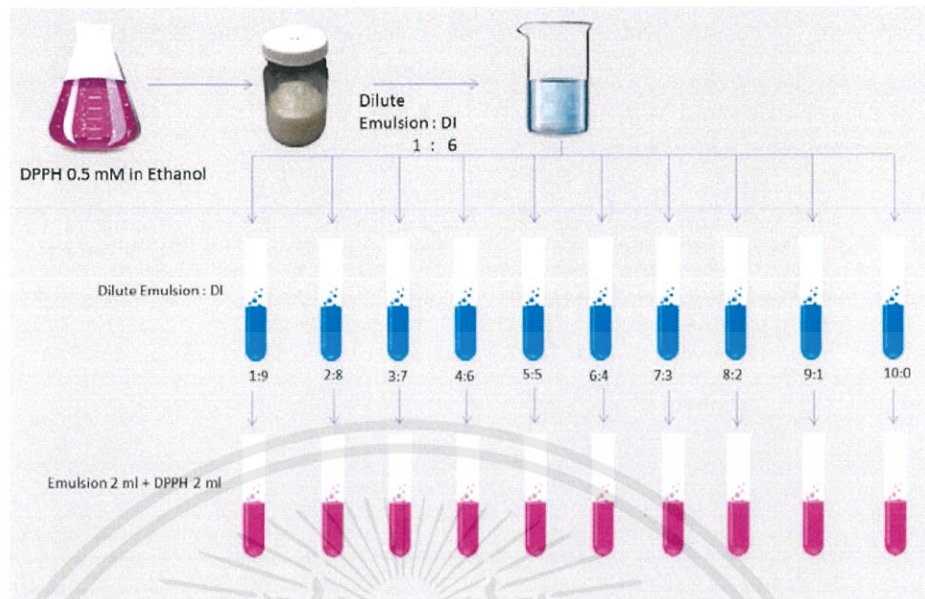
$$\% \text{ DPPH radical scavenging} = \left[\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

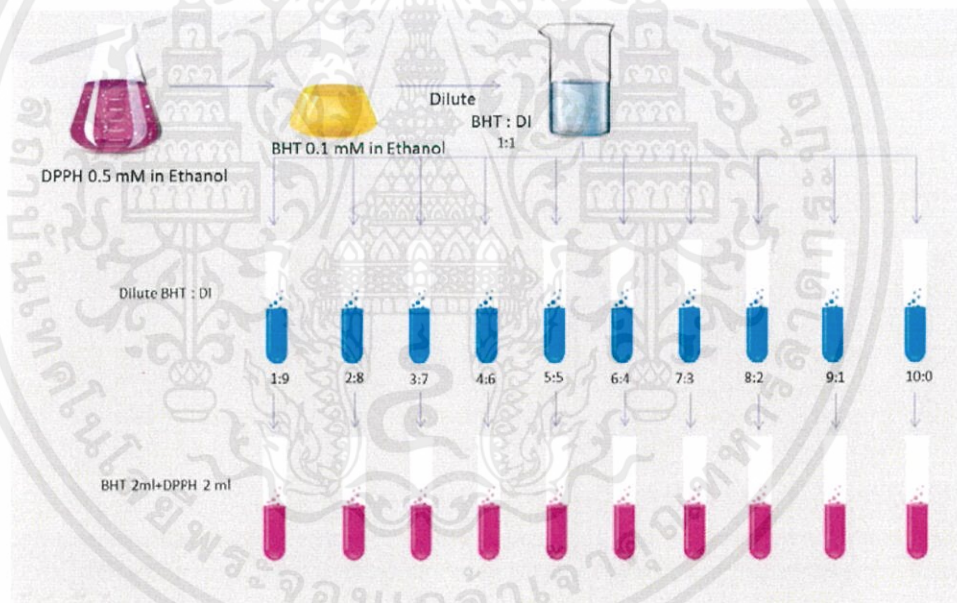
A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

(9) นำค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นมาหาค่าเฉลี่ยและเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้ง (% radical scavenging) กับความเข้มข้นของสารละลายอิมัลชันลิโมนีนและสารละลายมาตรฐานBHT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

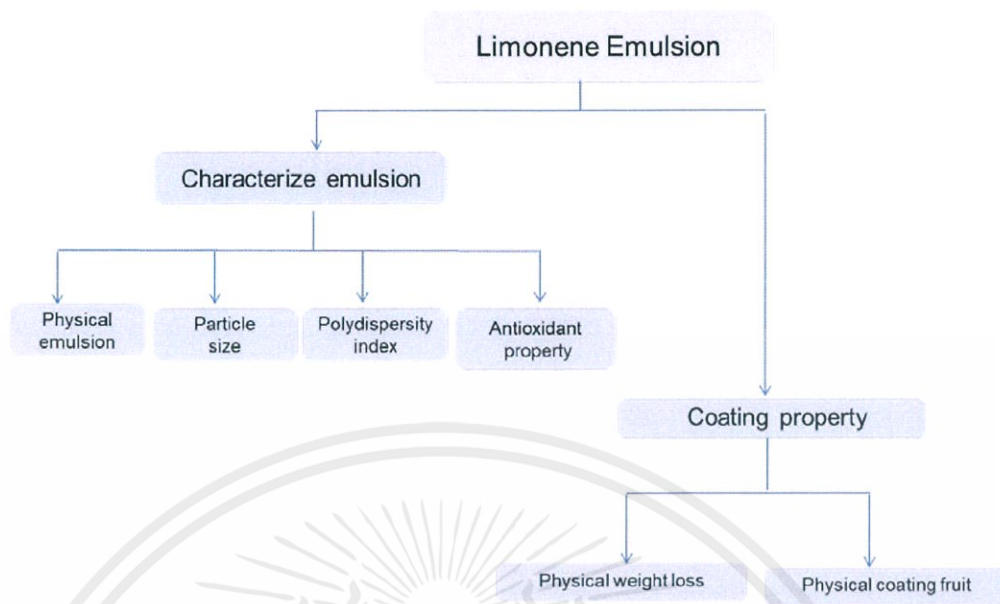


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารลิโปเนอิมัลชันในการวัดการต้านอนุมูลอิสระ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารมาตรฐาน (BHT) ในการวัดการต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



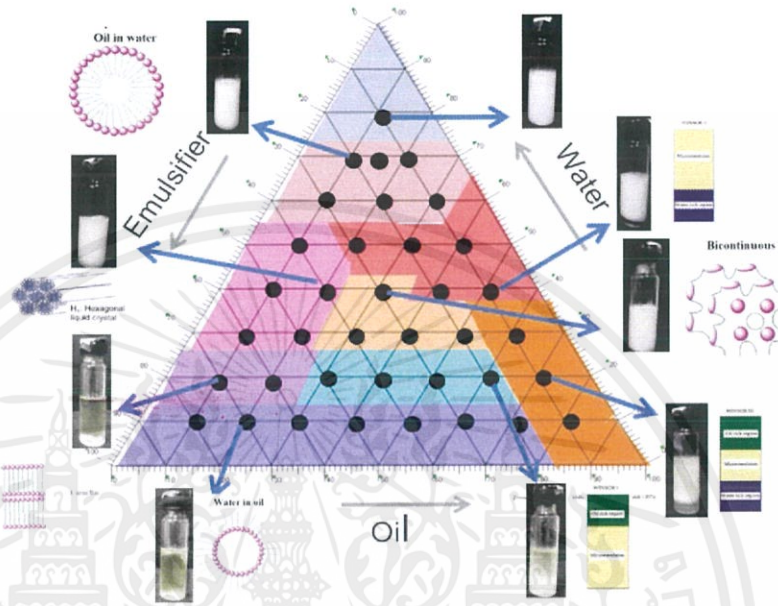
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติของลิโมนีนอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน

จากกระบวนการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเฟสน้ำ เฟสน้ำมัน และเฟสอิมัลซิไฟเออร์ จึงได้ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชัน ที่ได้จากการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเฟสน้ำ เฟสอิมัลซิไฟเออร์ และเฟสน้ำมัน โดย

สูตรที่ 1 มีลักษณะเป็นอิมัลชันโดยแยกเป็นสองเฟส

สูตรที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มีลักษณะเป็นอิมัลชันหนึ่งเฟส ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นน้ำมันในน้ำ

สูตรที่ 8, 12, 13, 17 และ 18 ลักษณะเป็นของเหลวหนืดเนื่องจากมีปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ที่มากขึ้น จึงมีโครงสร้างเป็นเฮกซะโกนอลลิควิดคริสตัล

สูตรที่ 23 และ 24 มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใสเนื่องจากมีปริมาณของเฟสอิมัลซิไฟเออร์มาก จึงมีโครงสร้างเป็นลามินา

สูตรที่ 30, 31, 32, 33, 34, 35 และ 36 มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองและมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย จึงมีโครงสร้างเป็นน้ำในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 25, 26, 27 และ 28 เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำมันในปริมาณมาก จึงมีลักษณะเป็น แยกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นล่างจะเป็นไมโครอิมัลชันและชั้นบนจะเป็นชั้นน้ำมัน

สูตรที่ 22, 29 และ 37 เนื่องจากมีปริมาณของเฟสอิมัลซิไฟเออร์น้อย จึงมีการแยกของ อิมัลชันเป็น 3 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นน้ำมัน ชั้นกลางเป็นชั้นไมโครอิมัลชันสีขาวขุ่น และชั้นล่างเป็นชั้นน้ำ

สูตรที่ 9, 10, 11, 15 และ 16 เนื่องจากมีอัตราส่วนเป็นน้ำในปริมาณมาก จึงมีลักษณะ อิมัลชันที่แยกเป็น 2 ชั้น ด้านบนเป็นไมโครอิมัลชันสีขาวขุ่น และด้านล่างเป็นชั้นน้ำ

สูตร 14, 19 20 และ 21 มีลักษณะเป็นของแข็ง จึงมีโครงสร้างเป็นไบคอนทิโนวัส

จากลักษณะทางกายภาพของลิโมนีนอิมัลชัน ในสูตรที่ 1-7 มีลักษณะเป็นอิมัลชันจึงทำการ นำสูตรที่ 1-7 ไปศึกษาคุณสมบัติต่อไป

4.2 ค่าขนาดของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชัน

ตารางที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชัน

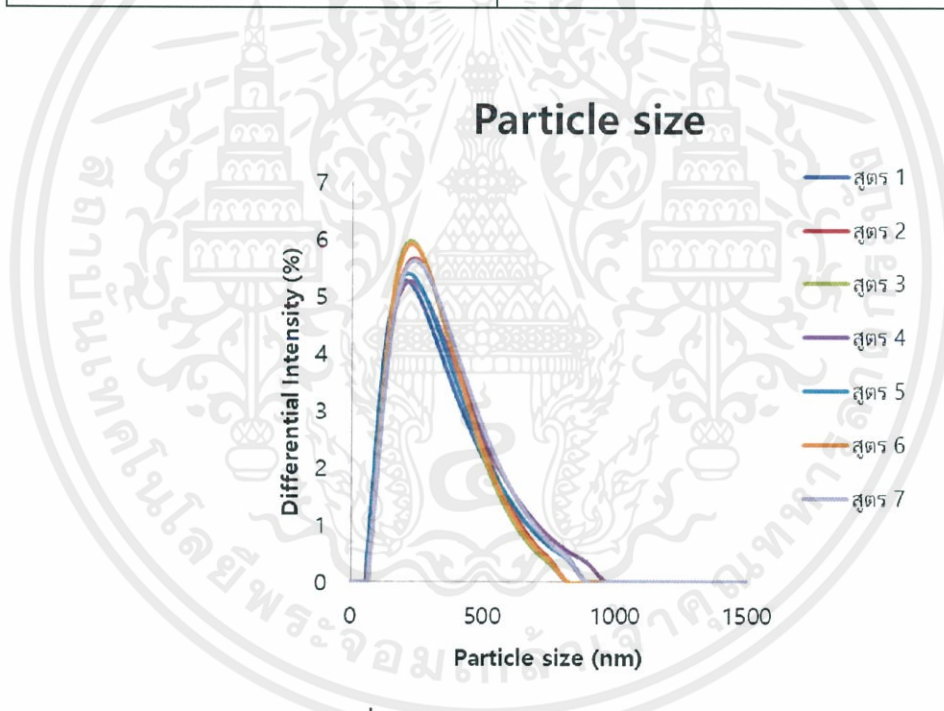
สูตร	ขนาดของอนุภาค (นาโนเมตร)
1	186.5
2	198.3
3	186.9
4	217.1
5	187.8
6	198.7
7	235.4

ค่าขนาดของอนุภาคของลิโมนีนอิมัลชันมีค่าดังตารางที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคลิโมนีนอิมัลชัน พบว่าขนาดของอนุภาคลิโมนีนอิมัลชันทั้ง 7 สูตรอยู่ในช่วง 20-500 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของ อิมัลชันประเภทนาโนอิมัลชัน และเมื่อมีปริมาณของเฟสน้ำมันที่มากขึ้นจะมีขนาดของอนุภาคที่ เพิ่มขึ้น โดยอิมัลชันทั้ง 7 สูตรนี้มีค่าเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ที่ 201.52 นาโนเมตร นอกจากนี้สูตรที่มี ปริมาณของเฟสน้ำมันที่ใกล้เคียงกันจะมีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน (มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 18)

4.3 ค่าการกระจายตัวของลิโม่เนีนอิมัลชัน

ตารางที่ 4.2 ค่าการกระจายตัวของอนุภาคของลิโม่เนีนอิมัลชัน

สูตร	ค่าการกระจายตัวของอนุภาค
1	0.235
2	0.227
3	0.203
4	0.220
5	0.246
6	0.199
7	0.216



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของค่าขนาดของอนุภาค

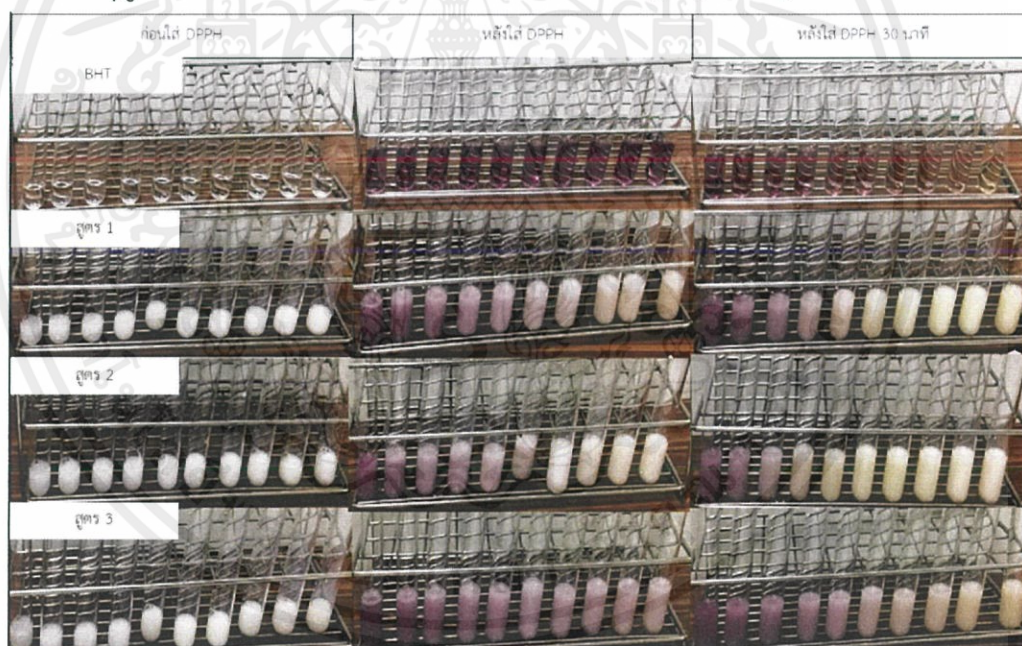
ค่าการกระจายตัวของอนุภาคของลิโม่เนีนอิมัลชันมีค่าแสดงในตารางที่ 4.2 ขนาดของอนุภาคลิโม่เนีนอิมัลชัน พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคลิโม่เนีนอิมัลชันทั้ง 7 สูตรอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10-20 % ซึ่งอยู่ในช่วงของอิมัลชันประเภทนาโนอิมัลชัน โดยที่มีค่าเฉลี่ยของค่าการกระจายตัวของลิโม่เนีนอิมัลชันทั้ง 7 สูตรอยู่ที่ 0.220 จากการเปลี่ยนแปลงของเฟสต่างในลิโม่เนีนอิมัลชันไม่ส่งผลโดยตรงต่อค่าการกระจายตัวของลิโม่เนีนอิมัลชัน (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 0.0167)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการการวัดขนาดอนุภาคและค่าการกระจายตัวของลิโมนีนอิมัลชัน สามารถสรุปได้เป็นอิมัลชันประเภทนาโนอิมัลชัน ซึ่งคุณสมบัติของดังนี้

- มีขนาดช่วง 20-500 นาโนเมตร
- มีค่าการกระจายตัวของอนุภาค < 10 เปอร์เซ็น
- ลิโมนีนอิมัลชันถูกเตรียมด้วยกระบวนการ การเตรียมอิมัลชันโดยใช้พลังงานสูง
- มีความเสถียรทางจลนศาสตร์ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน และมีลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลม ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค ด้วยระบบดีแอลเอส ซึ่งเป็นการวัดอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบบราวเนียน และเป็นการวัดขนาดอนุภาคที่เทียบเท่าของอนุภาคทรงกลม

4.4 ผลทดสอบคุณสมบัติของลิโมนีนอิมัลชัน ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay)



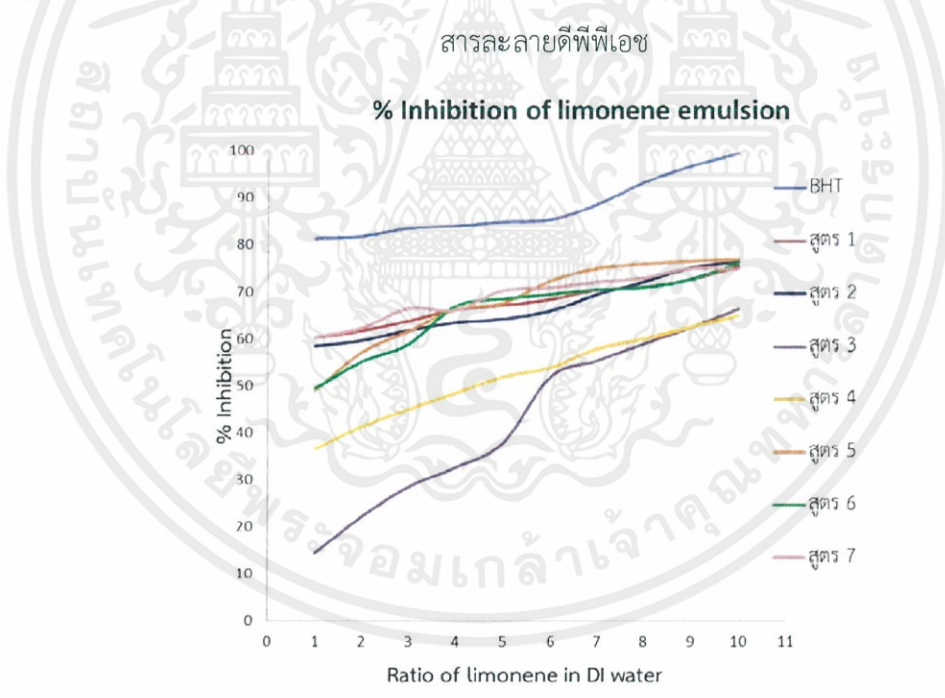
รูปที่ 4.3 สารเคลือบผิวสูตรที่ 1, 2 และ 3 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10

และ สารมาตรฐาน บีเอชที ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สารเคลือบผิวสูตรที่ 4, 5, 6 และ 7 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10 ผสมกับ



รูปที่ 4.5 เปรอ์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารเคลือบผิวในสูตรที่ 1-7 เทียบกับสารมาตรฐาน (BHT)

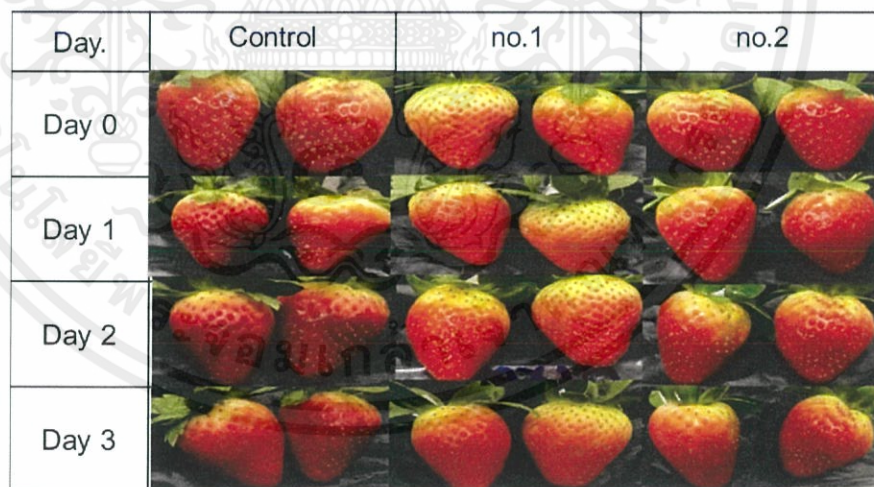
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารเคลือบผิวด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) ปรากฏว่า จากลักษณะทางกายภาพของสารลิโมนีนอิมัลชันหลังทำการใส่ดีพีพีเอช 30 นาทีพบว่าสารละลายจะมีการเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดจากการที่สารลิโมนีนอิมัลชันนั้นสามารถต้านอนุมูลอิสระ

จากการคำนวณค่าการต้านอนุมูลอิสระของลิโมนีนอิมัลชัน พบว่าถ้ามีปริมาณของลิโมนีนอิมัลชันมากขึ้น จะมีเปอร์เซ็นต์ของการต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น นอกจากนี้สูตรที่ 1, 2, 5, 6 และ 7 มีเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งกล่าวได้ว่าสารเคลือบผิวนั้นสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ โดยเป็นไปตามทฤษฎีของสารต้านอนุมูลอิสระในหัวข้อที่ 2.11 เมื่อดีพีพีเอชทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สีของสารละลายสีม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงจะมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

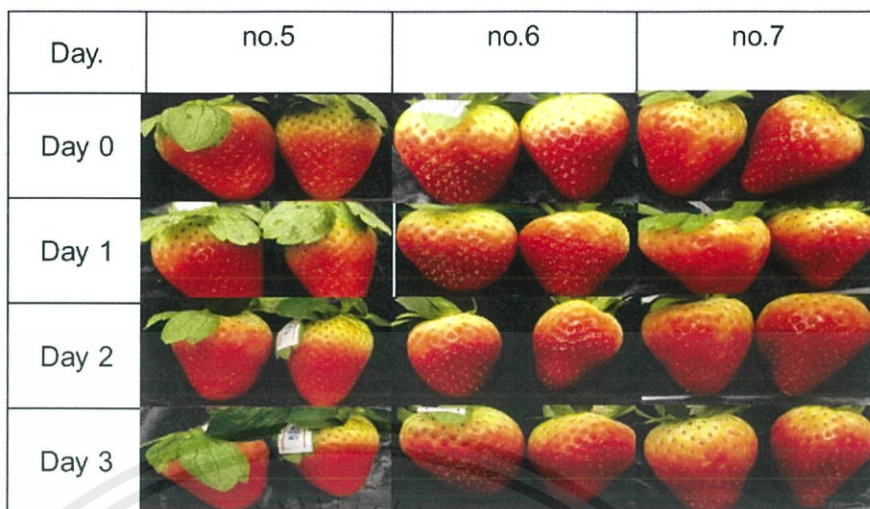
จากคุณสมบัติของการต้านอนุมูลอิสระจึงมีการนำลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1, 2, 5, 6 และ 7 ไปเคลือบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดการสูญเสีย

4.5 ผลการเคลือบผลไม้ด้วยลิโมนีนอิมัลชัน

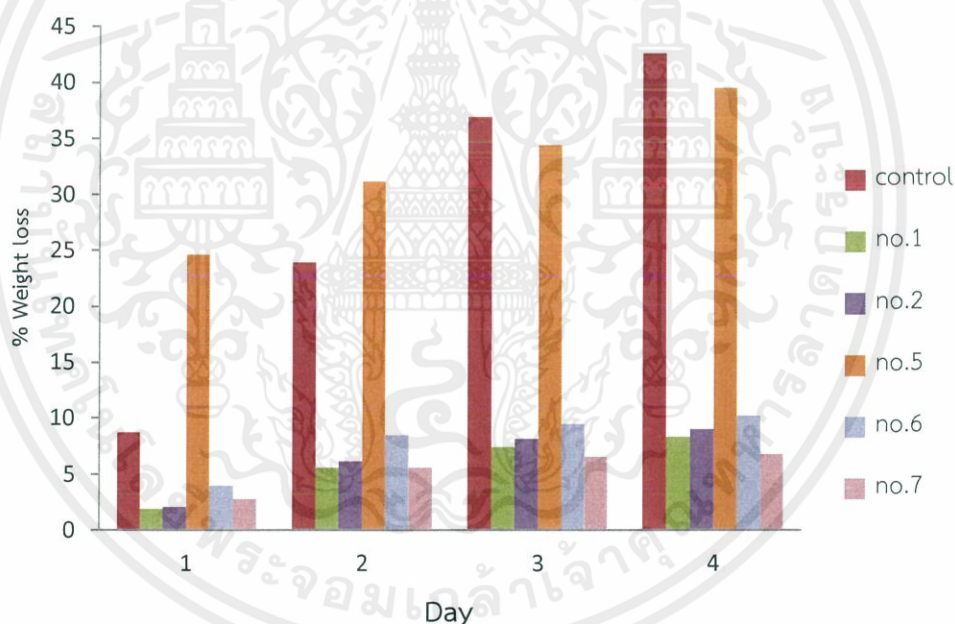


รูปที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1, 2 และสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 5, 6 และ 7



รูปที่ 4.8 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1, 2 และ สตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ และรูปที่ 4.7 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ พบว่าจากลักษณะทางกายภาพของสตอเบอร์รี่ทั้ง 7 สูตร เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ เมื่อเวลาผ่านไป สตอเบอร์รี่จะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวไปเป็นสีแดงตรงด้านบนขั้วของสตอเบอร์รี่ แต่ไม่สามารถพบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของสตอเบอร์รี่มากนัก เมื่อเทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ

จากรูปที่ 4.7 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับ สตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ เมื่อเวลาผ่านไป 3 วันพบว่าสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชันทั้ง 7 สูตร สามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ โดยในสูตรที่ 7 สามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากคุณสมบัติของอิมัลชันในสูตรที่ 1-7 มีคุณสมบัติตรงกับคุณสมบัติของนาโนอิมัลชัน จึงสามารถสรุปได้ว่าลิโมนีนในสูตรที่ 1-7 เป็นอิมัลชันประเภทนาโนอิมัลชัน โดยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1-7 สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ โดยตรวจสอบด้วยวิธีวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช ดังรูปที่ 5.1 สารเคลือบผิวสูตรที่ 1, 2 และ 3 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10 และ สารมาตรฐาน บีเอชที ผสมกับสารละลายดีพีพีเอช, รูปที่ 5.2 สารเคลือบผิวสูตรที่ 4, 5, 6 และ 7 ที่เจือจางที่ความเข้มข้นของอิมัลชันต่อน้ำ 1:10 ผสมกับสารละลายดีพีพีเอชและรูปที่ 4.7 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ จากการเคลือบ สตอเบอร์รี่ด้วยลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 1-7 สามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ ทำการเคลือบ ดังรูปที่ 4.7 กราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของสตอเบอร์รี่ที่เคลือบลิโมนีนอิมัลชัน เทียบกับสตอเบอร์รี่ที่ไม่ได้ทำการเคลือบ โดยลิโมนีนอิมัลชันสูตรที่ 7 สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ ดีกว่าสูตรที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจึงสรุปได้ว่าลิโมนีนอิมัลชันในสูตรที่ 7 เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตนาโนอิมัลชันเพื่อยืดอายุของผักและผลไม้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็น นาโนอิมัลชันและมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และยังสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการผลิตสารเคลือบผิวผักและผลไม้ นาโนอิมัลชันสามารถเตรียมด้วย กระบวนการอัลตราโซนิเคชัน สามารถตรวจสอบเพิ่มเติมในด้านลักษณะของผักผักและผลไม้ที่ทำการเคลือบด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และสามารถวัดการเกิดเอทิลีนในผักและผลไม้ที่เคลือบ ที่ทำการเคลือบไว้ด้วยอิมัลชัน นอกจากนี้การเปลี่ยนองค์ประกอบของเฟสต่างๆจะทำให้ได้ คุณสมบัติของสารเคลือบผิวนั้นเพิ่มขึ้นอีกด้วย



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการเตรียมสารลิโมนีนอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนน้ำดีไอ, ทวิน 80, สเปน80, น้ำมันปาล์มและลิโมนีนของลิโมนีนอิมัลชันแสดงดังตาราง
ที่ 5.1 สัดส่วนเฟสน้ำ เฟสน้ำมันและเฟสอิมัลซิไฟเออร์ของลิโมนีนอิมัลชัน

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนเฟสน้ำ เฟสน้ำมันและเฟสอิมัลซิไฟเออร์ของลิโมนีนอิมัลชัน

สูตร	เฟสน้ำ	ทวิน 80	สเปน 80	น้ำมันปาล์ม	ลิโมนีน
1	80	5.4	4.6	8	2
2	70	10.6	9.4	8	2
3	70	8	7	13	2
4	70	5.4	4.6	18	2
5	60	8	7	8	2
6	60	10.6	9.4	18	2
7	60	5.4	4.6	28	2
8	50	21.3	18.7	8	2
9	50	8	7	18	2
0	50	10.6	9.4	28	2
11	50	5.4	4.6	38	2
12	40	26.6	23.4	8	2
13	40	21.3	18.7	18	2
14	40	8	7	28	2
15	40	10.6	9.4	38	2
16	40	5.4	4.6	48	2
17	30	32	28	8	2
18	30	26.6	23.4	18	2
19	30	21.3	18.7	28	2
20	30	8	7	38	2
21	30	10.6	9.4	48	2
22	30	5.4	4.6	58	2
23	20	37.3	32.7	8	2
24	20	32	28	18	2
25	20	26.6	23.4	28	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนเฟส น้ำ เฟสน้ำมันและเฟสอิมัลซิไฟเออร์ของลิโมนีนอิมัลชัน (ต่อ)

26	20	21.3	18.7	38	2
27	20	8	7	48	2
28	20	10.6	9.4	58	2
29	20	5.4	4.6	68	2
30	10	42.6	37.4	8	2
31	10	37.3	32.7	18	2
32	10	32	28	28	2
33	10	26.6	23.4	38	2
34	10	21.3	18.7	48	2
35	10	8	7	58	2
36	10	10.6	9.4	68	2
37	10	5.4	4.6	78	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] "ตารางแสดงการส่งออกสินค้าสำคัญของไทยเรียงตามมูลค่า ปี 2557-2561" สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2561. [ออนไลน์]. Available: http://www.ops3.moc.go.th/export/recode_export_rank/report.asp
- [2] Baldwin, E.A., M.O. Nisperos, P.D. Hagenmaies and R.A. Baker, "Use of lipid in coating for food products," Food Technol, vol 51, pp 56-63, 1997
- [3] "สารเคลือบผิวสำหรับผลไม้สด," สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2551. [ออนไลน์]. Available: https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=38. (30 ต.ค. 2561).
- [4] Sukanya Chauwsuwan, "The study of optimal conditions for limonene extracted from lime peel for polystyrene foam recycling," 2551
- [5] ณัฐธินี อนันตโชค, "โครงการพัฒนาการสกัดและพัฒนาคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอระดับห้องปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม," 2552
- [6] Laura Espina, Tilahun K. Gelaw, Sílvia de Lamo-Castellví, Rafael Pagán, Diego García-Gonzalo, "Mechanism of Bacterial Inactivation by (+)-Limonene and Its Potential Use in Food Preservation Combined Processes," 2013
- [7] Merve Bacanlı, A. Ahmet Başaran, Nursen Başaran, "The antioxidant and antigenotoxic properties of citrus phenolics limonene and naringin," Food and Chemical Toxicology, 2015
- [8] Davicino Roberto, Patricia Micucci, Turner Sebastian, Ferraro Graciela, and Claudia Anesini, "Antioxidant Activity of Limonene on Normal Murine Lymphocytes Relation to H₂O₂ Modulation and Cell Proliferation", 2009
- [9] จริญญา ศิริพานิช, ชรินทร์ ร่มโพธิ์ภักดิ์, "การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ผักและผลไม้," 2549
- [10] จริญญา ศิริพานิช, "สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้," 2549
- [11] โสรัญา รอดประเสริฐ, "สารเคลือบผิวผลไม้มีประโยชน์อย่างไร," กรมวิทยาศาสตร์บริการ, vol 196, 2557
- [12] อภิตา บุญศิริ, ไศรดา กนกพานนท์, สิริรุ่ง ปรีชานนท์ และศิริพร วิหคโต, "สารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุ การเก็บรักษายืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ คงความสด ลดเน่าเสีย", 2554. [ออนไลน์]. Available: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupEconomic/27-apita_bun/template.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] นิธิยา รัตนานพนนท์ , ดนัย บุญยเกียรติ, "การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้," 2548
- [14] ดารินี พรหมโยธิน, สุธี ชูดีไพจิตร, นงลักษณ์ หวงกำแหง, กัลยากร เจริญกุล, ดิเรก จันทรวงษ์ , อนุชิต จารุวนาววัฒน์, "กระบวนการเตรียมและตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของนาโนอิมัลชันจากสารสกัดธรรมชาติ," 2559
- [15] Nithiya Ratanapanont, Danai Boonyakiat and Thongmai Phatchaiyo,"Delay of Ripening and Cracking of Durian (*Durio zibethimus*) var. Montong by Coating with Emulsion" 1999
- [16] โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง ,จันทนา บุญยรัตน์, มาลีรักษ์ อัดต์สินทอง,"สารต้านอนุมูลอิสระ" 2549
- [17] ญัฐินี อนันตโชค , "โครงการพัฒนาการสกัดและพัฒนาคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอระดับห้องปฏิบัติการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม," 2552
- [18] Phutthinya Ratanassirawat, Jaturoug Choikykoew, Suphannee Ngamyang and Prapapan Pienchob,"Extraction Procedure and Antioxidant Properties of Crude Extracts and Essential oil from Pomelo Peel" 2012
- [19] Gajanan Gundewadi, Shalini Gaur Rudra, Dhruva Jyoti Sarkar, Dinesh Singh, "Nanoemulsion based alginate organic coating for shelf life extension of okra," Food Packaging and Shelf Life 2018
- [20] Alejandra Acevedo-Fani, Robert Soliva-Fortuny and Olga Marti'n-Belloso, "Nanoemulsions as edible coatings," Food physics and material science, 2017
- [21] Mohsen Radi, Sara Akhavan-Darabi, Hamid-Reza Akhavan, Sedigheh Amiri, "The use of orange peel essential oil microemulsion and nanoemulsion in pectin-based coating to extend the shelf life of fresh-cut orange," 2017
- [22] Priyanka Singh, Ravindra Shukla, Bhanu Prakash, Ashok Kumar, Shubhra Singh, Prashant Kumar Mishra, Nawal Kishore Dubey, " Chemical profile, antifungal, antiaflatoxic and antioxidant activity of *Citrus maxima* Burm. and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their cyclic monoterpene, DL-limonene," Food and Chemical Toxicology, 2010

