

ผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา
พันธุ์ราชบุรณะ (*Jasminum sambac* Ait. var. *ratsburana*)

INHIBITORY EFFECTS OF ESSENTIAL OILS ON BROWNING
APPEARANCE IN JASMINE (*Jasminum sambac* Ait. var.
ratsburana) FLOWER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2568

KMITL-2025-AG-M-065-454

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INHIBITORY EFFECTS OF ESSENTIAL OILS ON BROWNING
APPEARANCE IN JASMINE (*Jasminum sambac* var. *ratsburana*)
FLOWER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025

KMITL-2025-AG-M-065-454

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลาพันธุ์ราชฎีร์บูรณะ (<i>Jasminum sambac</i> Ait. var. <i>ratsburana</i>)
ชื่อนักศึกษา	นางสาว กิตติญา แยมสุริโยทัย
รหัสประจำตัว	65046005
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. มณฑินี ธีรารักษ์

บทคัดย่อ

ดอกมะลิลา (*Jasminum sambac* Ait.) มีลักษณะกลีบดอกที่บอบบางซึ่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้คุณภาพของดอกไม้ลดลง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสารสำหรับใช้กับดอกมะลิลาหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ ได้แก่ ดาวเรือง (*Tagetes patula* L.), พุด (*Gardenia augusta*), พุทชชาติก้านแดง (*J. officinale* L. f. var. *grandiflorum* (L.)), กุหลาบ (*Rosa bourboniana* L.) และมะลิลา (*J. sambac* Ait.) เมื่อทดสอบศักยภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลจากดอกมะลิลาในหลอดทดลอง พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดงยับยั้งเอนไซม์ peroxidase ได้สูงสุดถึง 44.21% อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยมีความสามารถในการละลายน้ำที่จำกัด ซึ่งอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจึงเป็นวิธีแก้ปัญหา ในการทดลองต่อมา จึงเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดงในรูปแบบนาโนอิมัลชันมีขนาดหยดน้ำมันที่ 70.2 ± 0.39 นาโนเมตร และมีค่าดัชนีการกระจายตัวต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ทางชีวภาพของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดง และน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ผลการทดลองพบว่า นาโนอิมัลชันมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH[•] และความสามารถในการจับกับ Fe²⁺ สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดงในเอทานอล นอกจากนี้นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยยังแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ peroxidase จากดอกมะลิลาได้มากกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ เมื่อนำไปทดสอบกับมะลิลาหลังการเก็บเกี่ยว นำดอกมะลิลาแช่ในนาโนอิมัลชันดอกพุทชชาติก้านแดงที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1, และ 0.2% เป็นเวลา 5 นาที และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า นาโนอิมัลชันความเข้มข้น 0.1% มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของกลีบดอก ลดกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD รักษาความสดและการคงสีของกลีบดอกได้นานที่สุด นอกจากนี้ยังลดการสะสมของมาลอนไดอัลดีไฮด์ในเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีบดอก ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเสียหายจากออกซิเดชัน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงมีศักยภาพในการยับยั้งกระบวนการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ และสามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของกลีบดอกมะลิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: นาโนอิมัลชัน, การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล, สารต้านอนุมูลอิสระ, ดอกมะลิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Inhibitory effects of essential oils on browning appearance in jasmine (<i>Jasminum sambac</i> Ait. var. <i>ratsburana</i>) flower
Student	Miss Kittiya Yeamsuriyotai
Student ID.	65046005
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2025
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Montinee Teerarak

Abstract

Jasminum sambac Ait. flowers (jasmine) possess delicate petals that rapidly turn brown after harvest leading to a significant reduction in flower quality. This study aimed to identify alternative postharvest treatments to delay browning using flowers essential oils. Flower essential oils, namely, marigold (*Tagetes patula* L.), gardenia (*Gardenia augusta* (L.) Merr.), *J. officinale* L. f. var. *grandiflorum* (L.), Edward rose (*Rosa bourboniana* L.), and *J. sambac* Ait. were screened for their ability to inhibit browning-relevant enzymes in jasmine flowers under *in vitro* conditions. The maximum percentage of reduction in peroxidase activity in jasmine flower recorded was 44.21% by *J. officinale* essential oil. Nevertheless, plant essential oils have restricted water solubility, for which problem oil-in-water emulsions provide a good solution. Consequently, the *J. officinale* essential oil nanoemulsion was produced as an aqueous solution, characterized by and an oil droplet size of 70.2 ± 0.39 nm and a narrow polydispersity index. The biological activities of *J. officinale* essential oil nanoemulsion and pure oil were compared in terms of antioxidant and anti-browning activities. Nanoemulsion demonstrated DPPH[•] radical scavenging capacity and Fe²⁺ chelating ability higher than those of *J. officinale* essential oil in ethanol. Moreover, the nanoemulsion essential oil exhibited much higher efficiency in inhibiting the peroxidase from jasmine flowers than pure essential oil. In a postharvest experiment, jasmine flowers were dipped in nanoemulsion at concentrations of 0.05, 0.1, and 0.2% for 5 min and stored at $10 \pm 2^\circ\text{C}$ for 12 days. In comparison to the control, the nanoemulsion at a concentration of 0.1% was the most effective in delaying petal browning, reducing PAL, PPO, and POD enzyme activities, and maintaining freshness and color retention. Moreover, this treatment also reduced the accumulation of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

malondialdehyde in petal tissues, indicating reduced oxidative damage. These findings indicated that *J. officinale* essential oil nanoemulsion effectively inhibited enzymatic browning and thus petal browning in jasmine flowers.

Keywords: nanoemulsion, browning inhibition, antioxidant, *Jasminum sambac*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง ผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา (*Jasminum sambac* Ait.) ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มณฑินี อีรารักษ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คอยให้ความรู้ คำแนะนำด้วยความเอาใจใส่ ตรวจสอบงานอย่างละเอียด ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังแต่ริเริ่มวิจัยจนกระทั่งงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา รวมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่จัดทำงานวิจัยมาตลอด และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ รศ.ดร.สมยศ เดชภีรัตน์มงคล รศ.ดร.จำรูญ เล้าสินวัฒนา และ ผศ.ดร.สมศักดิ์ ครามโชติ ที่ให้ความกรุณาในการตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และสละเวลาในการมาสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบิดามารดาที่เคารพ และเพื่อนระดับปริญญาโท นางสาวณัฐมณฑิ์ ประดับกุล นางสาวมัทนา เมืองคง รวมถึงเพื่อนพี่น้องนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการเกษตรทุกท่านที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนอยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาและงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ได้รับงบประมาณจากโครงการทุนวิจัยส่งเสริมส่วนงานวิชาการจากประจำปีงบประมาณ 2566 (สัญญาเลขที่ 2566-02-04-018) ที่ให้การสนับสนุนตลอดจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

กิตติยา แยมสุริโยทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สถานที่ดำเนินงาน.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มะลิลา.....	4
2.2 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว.....	4
2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว.....	5
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์.....	5
2.4.1 สารประกอบฟีนอล.....	6
2.4.2 เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase.....	6
2.4.3 เอนไซม์ polyphenol oxidase.....	7
2.4.4 เอนไซม์ peroxidase.....	8
2.5 การลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์.....	9
2.5.1 วิธีกล.....	9
2.5.2 วิธีการใช้สารเคมี.....	9
2.5.3 วิธีที่ใช้สารธรรมชาติ.....	9
2.6 การเกิดสีน้ำตาลในดอกไม้และการลดการเกิดสีน้ำตาล.....	10
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระจากดอกไม้.....	11
2.8 อิมัลชัน.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 พืชทดลองและสถานที่ทดลอง.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของดอกมะลิลาในหลอดทดลอง.....	16
3.2.1 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL.....	17
3.2.2 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO.....	17
3.2.3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD.....	17
3.2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	18
3.3 การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดงในรูปอิมัลชัน.....	18
3.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ.....	18
3.3.2 การวัดขนาดและการกระจายอนุภาค.....	18
3.3.3 วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน.....	19
3.4 การทดลองที่ 3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลา ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง.....	19
3.4.1 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD.....	19
3.4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	20
3.5 การทดลองที่ 4 การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง.....	20
3.5.1 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*.....	20
3.5.2 การแย่งจับกับไอออนโลหะ.....	21
3.5.3 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)	21
3.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	21
3.6 การทดลองที่ 5 ศึกษาความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา.....	22
3.6.1 การประเมินกลิ่น.....	22
3.6.1.1 ประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย.....	22
3.6.1.2 ประเมินกลิ่นหอมของดอกมะลิลา.....	23
3.6.2 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*).....	23
3.6.3 ดัชนีความคงตัวของสี.....	23
3.6.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษา ก้านแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา.....	25
3.7.1 การสูญเสียน้ำหนัก.....	25
3.7.2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์.....	25
3.7.3 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*).....	26
3.7.4 การประเมินกลิ่น.....	26
3.7.4.1 ประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย.....	26
3.7.4.2 ประเมินกลิ่นของดอกมะลิ.....	26
3.7.5 ดัชนีความสดและดัชนีความคงตัวของสี.....	26
3.7.6 ดัชนีการบานของดอกมะลิ.....	27
3.7.7 การวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์.....	28
3.7.8 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์.....	28
3.7.9 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH.....	28
3.7.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก.....	29
3.7.11 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	29
3.7.12 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ PAL.....	29
3.7.13 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ PPO.....	29
3.7.14 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ POD.....	29
3.7.15 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	30
4.1 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง กิจกรรมเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของดอกมะลิในหลอดทดลอง.....	30
4.1.1 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL.....	30
4.1.2 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO.....	30
4.1.3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD.....	33
4.2 การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ในรูปอิมัลชัน.....	35
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ.....	35
4.2.2 การวัดขนาดอนุภาค ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน และการกระจายอนุภาค.....	38
4.3 การทดลองที่ 3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิ ระหว่าง น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษา ก้านแดง.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาตากแห้ง.....	42
4.4.1 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*.....	42
4.4.2 ความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะ.....	42
4.4.3 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP).....	43
4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาตากแห้งต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา.....	45
4.5.1 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*).....	45
4.5.2 ดัชนีความคงตัวของสี.....	47
4.5.3 การประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหยและกลิ่นของดอกมะลิ.....	48
4.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาตากแห้งต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา.....	50
4.6.1 การสูญเสียน้ำหนักและปริมาณน้ำสัมพัทธ์.....	50
4.6.2 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*).....	52
4.6.3 การประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหยและกลิ่นของดอกมะลิ.....	54
4.6.4 ดัชนีการบานของดอกมะลิ.....	56
4.6.5 ดัชนีความสดของดอกมะลิและดัชนีความคงตัวของสี.....	57
4.6.6 การร่วงไหลของประจุและปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์.....	60
4.6.7 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*.....	61
4.6.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	62
4.6.9 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD.....	64
บทที่ 5 วิจัยรณัผลการทดลอง.....	66
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	74
6.1 ศักยภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล.....	74
6.2 คัดเลือกสูตรในการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาตากแห้งในรูปอิมัลชันที่มีความเสถียร.....	74
6.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาตากแห้ง.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 การเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และ นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถิ่นแดน.....	75
6.5 ผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาถิ่นแดนต่อคุณภาพและ อายุการเก็บรักษาของดอกมะลิลา.....	75
6.6 สรุปภาพรวมของการทดลอง.....	75
6.7 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงการประมาณค่า HLB โดยใช้สมบัติการละลายน้ำ.....	14
2.2	แสดงการนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้งานตามค่า HLB.....	14
2.3	แสดงค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	15
3.1	เกณฑ์การให้คะแนนของดอกมะลิลาตามการเปลี่ยนแปลงสีกลีบดอกและการเกิดสีน้ำตาล.....	24
3.2	เกณฑ์การให้คะแนนการบานของดอกมะลิลา.....	27
4.1	ขนาดของอิมัลชัน ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน และดัชนีการกระจายขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดง.....	39
4.2	ค่า EC_{50} การกำจัดอนุมูล DPPH [*] และการแย่งจับกับไอออนโลหะของน้ำมันหอมระเหยและนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง.....	44
4.3	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH [*] ของดอกมะลิลาที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2%.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารฟีนอลิกโดยเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase...	7
2.2	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase.....	8
2.3	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ peroxidase.....	8
4.1	ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PAL (ยูนิต/ชั่วโมง/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL (%) ในดอกมะลิลา (ข).....	31
4.2	ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิต/นาที่/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (%) ในดอกมะลิลา (ข).....	32
4.3	ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD (ยูนิต/นาที่/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD (%) ในดอกมะลิลา (ข).....	34
4.4	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดง.....	35
4.5	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดง.....	37
4.6	ความสามารถของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดงต่อการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ POD (ยูนิต/นาที่/กรัม) (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD (%) (ข).....	41
4.7	กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง.....	42
4.8	ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะโดยวิธี Metal chelating activity ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง.....	43
4.9	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง.....	44
4.10	ค่าสี L* (ก), a* (ข) และ b* (ค) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.11	ดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน...	47
4.12	คะแนนการประเมินคุณภาพกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย (ก) และกลิ่นหอมของดอกมะลิลา (ข) ในดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน.....	49
4.13	การสูญเสียน้ำหนัก (%) (ก) และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (%) (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	51
4.14	ค่าสี L* (ก), a* (ข) และ b* (ค) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	53
4.15	คะแนนการประเมินคุณภาพกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย (ก) และกลิ่นหอมของดอกมะลิลา (ข) ในดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	55
4.16	ดัชนีการบานของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	56
4.17	ดัชนีความสด (ก) และดัชนีความคงตัวของสี (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	58
4.18	การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	59
4.19	การรั่วไหลของประจุ (ก) และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถักแห้ง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ก) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	63
4.21	กิจกรรมของเอนไซม์ PAL (ก), PPO (ข) และ POD (ค) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน.....	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มะลิลา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jasminum sambac* Ait. มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย พบในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนในพื้นที่ทวีปเอเชีย, ทวีปแอฟริกา และออสเตรเลีย (กรมวิชาการเกษตร, 2561) พันธุ์ที่นิยมปลูกในไทย ได้แก่ พันธุ์ราชภูร์บุรณะ พันธุ์แม่กลอง และพันธุ์ชุมพร (ธีระวัฒน์ วงศ์วิจิต, 2561) เป็นดอกไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทยมีความต้องการในปริมาณสูงตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว เพราะในฤดูนี้จะออกดอกน้อยและมีราคาสูง (ช.ณัฐศิริ สุยสุวรรณ, 2538) มีจำหน่ายมะลิลาทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่ส่วนใหญ่จะจำหน่ายภายในประเทศ โดยตลาดต่างประเทศมีการส่งออกในรูปแบบพวงมาลัย ต้น และดอกมะลิลาสด ตลาดที่สำคัญ คือ เนเธอร์แลนด์ อเมริกา และเบลเยียม ส่วนตลาดพวงมาลัย คือ อเมริกาและญี่ปุ่น (สำนักงานเกษตรอำเภอเขาคิชฌกูฏ, 2565) ดอกมะลิลานิยมใช้ร้อยมาลัย บูชาพระ และในอุตสาหกรรมน้ำหอม (ชญญา ทิพานุกะ, 2554) แม้มะลิลาจะเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศแต่กลับมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มหรือน้ำตาล และการเหี่ยวแห้งของดอกที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลาเพียง 1-2 วัน เนื่องจากกลีบดอกมีการสร้างเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งการเสื่อมสภาพ (ศรีสังวาล ลายวิเศษกุล, 2537) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Faragher และ Mayak (1984) รายงานว่า การผลิตเอทิลีนปริมาณสูง ทำให้ดอกมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เกิดการบานอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ดอกเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ เช่น การแช่ดอกมะลิลาในสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) (ชญญาภัสร์ ศรีวิจารณ์ และคณะ, 2559), การแช่ดอกพุดตูมในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) (สุพิชญ์พงศ์ ภูหวล และคณะ, 2557), การแช่กรดแอสคอร์บิกในลำใยพันธุ์ตอ (คันสนีย์ กาบบัว และคณะชัย พันธุ์เกษมสุข, 2551) และการรมด้วย 1-MCP ในบล็อกโคลี (Gómez-Lobato *et al.*, 2012) นอกจากนี้สารจากธรรมชาติกำลังเป็นที่ได้รับความนิยม เช่น การใช้สารสกัดจากเปลือกสับปะรดลดการเกิดสีน้ำตาล (โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2547), การใช้สารสกัดจากรำข้าวในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผลมะเขือยาวสไลด์สด (ฤทัยภักดี ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ, 2565), การใช้เปลือกมังคุดสกัดยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในแอปเปิ้ลตัดแต่ง (Hemachandran *et al.*, 2017) และ การใช้สารสกัดจากต้มหอมและกะหล่ำปลีในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในอะโวคาโดเหี่ยว (Bustos *et al.*, 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหอมระเหยมีศักยภาพในการยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งกระบวนการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเสื่อมคุณภาพของดอกไม้ระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ak *et al.* (2021) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกและใบของ *Calendula officinalis* L. สามารถต้านอนุมูลอิสระผ่านกลไกการกำจัดอนุมูลอิสระโดยทดสอบด้วยวิธี DPPH* และสามารถยับยั้งเอนไซม์ amylase, glucosidase, acetylcholinesterase, butyrylcholin-esterase และ tyrosinase เช่นเดียวกับน้ำมันหอมระเหยจากโรสแมรี่ช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในผักบัตเตอร์เฮด และเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์กิจกรรมของเอนไซม์ POD มีแนวโน้มลดลง (Ponce *et al.*, 2004; Ponce *et al.* 2008) ในการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากดาวเรือง (*Tagetes patula* L.), พุด (*Gardenia augusta*), พุทระชาดก้านแดง (*Jasminum officinale* L. f. var. *grandiflorum* (L.)), กุหลาบ (*Rosa bourboniana* L.) และมะลิลา (*Jasminum sambac* Ait.) เนื่องจากเป็นน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากดอกไม้ที่ใช้ในการร้อยมาลัยร่วมกับดอกมะลิลา เพื่อให้มีกลิ่นที่กลมกลืนและไม่มีกลิ่นรบกวนดอกมะลิลา และเพื่อหาสารใหม่ ๆ ที่สกัดจากธรรมชาติโดยนำน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้มาทดสอบการลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา เพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร เพิ่มมูลค่าทางการตลาดและลดความสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจ

1.2 วัตถุประสงค์

1.1 ประเมินศักยภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทระชาดก้านแดง และมะลิลา ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase และ peroxidase ของดอกมะลิลาในหลอดทดลอง

1.2 คัดเลือกสูตรในการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทระชาดก้านแดงในรูปอิมัลชันที่มีความเสถียร

1.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลจากดอกมะลิลา ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทระชาดก้านแดง

1.4 เปรียบเทียบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทระชาดก้านแดง

1.5 ศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทระชาดก้านแดงในรูปนาโนอิมัลชันต่อการใช้เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เอนไซม์และสารชีวเคมีบางกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา ระหว่างการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบชนิดของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา

1.4.2 ได้สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่มีย่านขนาดอนุภาคน้ำมันต่ำกว่า 100 นาโนเมตร และเป็นระบบอิมัลชันที่มีความเสถียร

1.4.3 ได้น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่สกัดในรูปแบบนาโนอิมัลชันที่เจือจางด้วยน้ำได้ และส่งเสริมประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

1.4.4 เป็นแนวทางการใช้นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่สกัดในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่กลีบดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา

1.4.5 ได้สารธรรมชาติจากพืชเพื่อเป็นสารทางเลือกใหม่สำหรับใช้หลังการเก็บเกี่ยวกับดอกมะลิลาเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาล

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะลิลา

มะลิลา ชื่อวิทยาศาสตร์ *Jasminum sambac* Ait. มีถิ่นกำเนิดในอินเดีย พบในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนในพื้นที่ทวีปเอเชีย, ทวีปแอฟริกา และออสเตรเลีย (กรมวิชาการเกษตร, 2561) แหล่งผลิตที่สำคัญในไทย เช่น ลพบุรี กรุงเทพฯ ปทุมธานี นครนายก นครปฐม ฯลฯ พันธุ์ที่นิยมปลูกในไทย ได้แก่ พันธุ์ราชบุรุษบุรณะ พันธุ์แม่กลอง และพันธุ์ชุมพร (ธีระวัฒน์ วงศ์วิจิต, 2561) โดยมะลิลาเป็นพืชไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 1-3 เมตร ใบเดี่ยว รูปรีหรือรูปไข่เกือบกลม แผ่นใบด้านล่างมีขนสั้น โคนและปลายแหลม เส้นแขนงใบข้างละ 4-6 เส้น เส้นโคนใบไม่ชัดเจน (กรมวิชาการเกษตร, 2561) ดอกเล็ก เรียวแหลม มีกลิ่นหอมแรง ช่อดอกแบบกระจุก ออกตามซอกใบและปลายกิ่ง กลีบดอกชั้นเดียว โคนกลีบดอกเชื่อมกันเป็นหลอด โดยดอกที่อยู่ตรงกลางจะบานก่อน แต่ละดอกมีกลีบเลี้ยงเป็นหลอดสีเขียวอมเหลืองอ่อน เกสรเพศผู้ 2 เกสร ติดกับกลีบดอกในหลอดสีขาว ออกดอกตลอดทั้งปี มีกลิ่นหอม แต่จะออกดอกน้อยในช่วงฤดูหนาว สามารถควบคุมการออกดอกได้โดยการควบคุมการให้น้ำและปุ๋ย เมื่อทรงพุ่มเริ่มแน่นการตัดแต่งกิ่งจะทำให้การออกดอกดีขึ้น (ข้อมูลพันธุ์ไม้, 2564; ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง, 2567)

2.2 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

โดยปกติดอกมะลิลาเริ่มบานในตอนบ่ายและหลุดร่วงไปวันรุ่งขึ้น การเก็บเกี่ยวดอกมะลิลาควรเก็บเกี่ยวในตอนเช้ามืด เก็บเกี่ยวดอกตูมที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่มีสีขาวนวล โดยใช้มือเด็ดตรงก้านดอกใต้กลีบเลี้ยง เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการร้อยมาลัยได้เพียงระยะหนึ่งสำหรับการเก็บรักษาดอกมะลิลาสดในระหว่างการขนส่งที่ทำการค้าในปัจจุบันจะบรรจุในถุงพลาสติก และบรรจุในกล่องโฟมที่ปูพื้นกล่องด้วยน้ำแข็งเกร็ด ในระหว่างชั้นถุงของมะลิลาที่วางซ้อนกันและปูทับด้วยน้ำแข็งเกร็ด ทำให้สามารถเก็บรักษาดอกมะลิลาสดในระหว่างการขนส่งได้โดยที่ดอกไม่บาน (เอกพงษ์ หนูพลับ, 2551) ในการศึกษาของ Kumaresan (2023) ที่บรรจุมะลิสดอกตูมในถุงโพลีเอทิลีน (PE) สีดำ ความหนา 200 ไมครอน ไม่มีการระบายอากาศและเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะรักษาความชื้นได้มากขึ้น สูญเสียน้ำหนักทางสรีรวิทยาน้อยลง การรั่วไหลของตัวถูกละลายน้อยลง ดัชนีความสด และอายุการเก็บรักษานาน 70.73 ชั่วโมง และการจุ่ม *Jasminum sambac* cv. Mysuru Mallige ด้วยกรดบอริก 4% บรรจุในถุง PE ขนาด 60 ไมครอน ไม่มีการระบายอากาศและเก็บไว้ในกล่องเทอร์โมโคลที่ปูด้วยฟอยล์อลูมิเนียมในเจล โดยสภาวะความเย็นของแผ่นน้ำแข็งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาของดอกมะลิได้นานถึง 48 ชั่วโมง

โดยมีการสูญเสียทางสรีรวิทยาน้อยที่สุด (Yathindra, 2018) และมีการศึกษาการยืดอายุในพวงมาลัย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอกมะลิ *Suntipabvivattanaa and Tongdeesuntorn (2017)* ได้เปรียบเทียบมาลัยที่ผ่านการแปรรูปและใช้ benzyladenine หรือกรดบอริก ร่วมกับการบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน (PP) และถุง PE พบว่าการใช้ benzyladenine หรือกรดบอริก 500 มิลลิกรัม/ลิตร ร่วมกับการบรรจุในถุง PP สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของพวงมาลัยดอกมะลิได้ถึง 10 วัน และการใช้ 1-MCP ที่ความเข้มข้น 3,600 นาโนลิตร/ลิตร เป็น เวลา 12 ชั่วโมง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพวงมาลัยดอกมะลิได้ดีที่สุด คือ 12.6 วัน (มยุรี กระจายกลาง, 2555)

2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

หลังการเก็บเกี่ยว ดอกมะลิเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง เช่น การหายใจสูง การปล่อยเอทิลีน และการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้กลีบดอกเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลและเหี่ยวเร็ว วชิรญา อิ่มสบาย และพรทิพย์ ตรงชื่น (2562) รายงานว่า ดอกสีขาวอมเขียวจะเริ่มบานภายใน 12 ชั่วโมง โดยแสดงระยะเริ่มผลิและดอกแย้มและมีกลิ่นหอมสูงสุดภายใน 6 ชั่วโมง ดอกมะลิสีขาวอมเขียวและสีขาวมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเมื่อดอกเริ่มบานและมีอัตราการหายใจสูงสุดเมื่อดอกอยู่ระยะแรกเริ่มและดอกแรกแย้มซึ่งเป็นช่วงที่มะลิมีกลิ่นหอมสูงที่สุด เมื่อดอกบานเต็มที่จะมีอัตราการหายใจต่ำลง อัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นหลังจากผ่านช่วงที่มีการหายใจสูงสุดเช่นเดียวกับกลีบดอกที่เหี่ยวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับอัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้น และมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงที่สุด 24 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว ดอกมะลิทั้งสองระยะแสดงอาการกลีบดอกเหี่ยว แต่ยังไม่พบการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือม่วงเกิดขึ้น การปลดปล่อยสารระเหยเพิ่มขึ้นตามระยะการพัฒนาของดอก โดยมีกลิ่นหอมสูงที่สุดเมื่อดอกกำลังบานและลดลงหลังจากดอกบานเต็มที่แล้ว กลิ่นหอมลดลงภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยดอกมะลิสีขาวอมเขียวยังคงส่งกลิ่นหอมเล็กน้อยขณะที่ดอกมะลิสีขาวไม่มีกลิ่นหอมแล้ว

2.4 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยากับสารฟีนอลเมื่อเซลล์ได้รับความเสียหายหรือถูกทำลายเนื่องจากการตัดแต่ง ปอก บด หรือการชำ ทำให้เกิดการเร่งของปฏิกริยาการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ของสารประกอบฟีนอลโดยเอนไซม์ PPO ได้ ผลิตภัณฑ์เบื้องต้นเป็นสารอโทควิโนน สามารถเกิดการรวมตัวกันได้โดยปฏิกิริยา condensation เกิดเป็นสารประกอบที่เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้น้อย เรียกว่า melanoidin (Jiang *et al.*, 2016) เอนไซม์ PPO ใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของการเก็บรักษาและการแปรรูปผักผลไม้ในทางเศรษฐกิจโดยพบว่าของผักและผลไม้มากกว่าครึ่งหนึ่งมีสาเหตุการเสื่อมสภาพจากการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงสีในผักผลไม้แปรรูป ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ สูญเสียคุณภาพทางสารอาหารและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Whitaker and Lee, 1995) ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์และสารประกอบฟีนอล, ค่า pH, ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (Martinez and Whitaker, 1995)

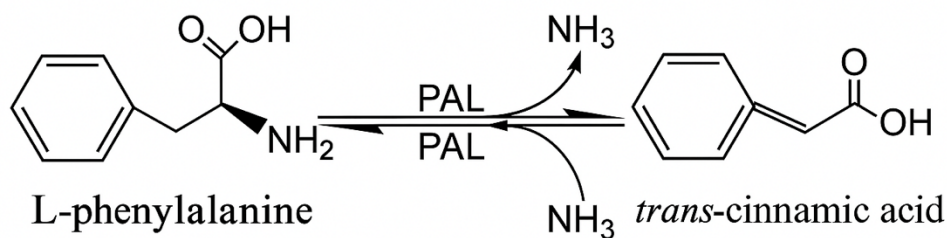
2.4.1 สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีบทบาททั้งในด้านการยับยั้งและกระตุ้นการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งอาจมีหมู่เคมีอื่นเข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอล เช่น cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, catechol, anthocyanin และแทนนิน เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) พบอยู่ในบริเวณของแควคิลโอด โดยจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ในรูปที่ละลายน้ำ (tannins) หรือรวมตัวกันในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (lignins) (Macheix *et al.*, 1990) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกหลายกลุ่มก็ทำหน้าที่ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ได้แก่ สารกลุ่มกรดไฮดรอกซิลเบนโซอิก สารกลุ่มกรดไฮดรอกซิลซินนามิก และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Lee *et al.*, 2016) ซึ่งระดับของการเกิดสีน้ำตาลนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล สอดคล้องกับงานวิจัยในแอฟริคอตและแอปเปิล พบว่า ปริมาณสาร chlorogenic acid ในแอฟริคอตและผลแอปเปิลพันธุ์ต่าง ๆ ลดลงอย่างรวดเร็วกับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นซึ่ง chlorogenic acid เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว (Radi *et al.*, 1997; Almaraz-Abarca *et al.*, 2013)

2.4.2 เอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase

PAL เป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการ phenylpropanoid ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการผลิตสารประกอบทุติยภูมิ โดยเอนไซม์ PAL จะทำการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของ L-phenylalanine เป็น trans-cinnamic acid ดังภาพที่ 2.1 (Esra, 2012) ซึ่งสารประกอบฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์ต่อด้วยเอนไซม์ PPO เป็นสารประกอบ o-quinones ซึ่งจะเกิด polymerization ขึ้นเองเพื่อสร้างเม็ดสีน้ำตาล กิจกรรมของเอนไซม์ PAL อาจเป็นดัชนีที่บ่งชี้ของผลิตภัณฑ์สดตัดแต่งทางด้านอายุการเก็บรักษา และคุณภาพโดยเฉพาะสีและเนื้อสัมผัส (Degl'Innocenti *et al.*, 2005) โดยทั่วไปกิจกรรมของเอนไซม์ PAL จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชเกิดบาดแผลจากการตัดแต่ง ส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ PAL เป็นเอนไซม์ที่ควบคุมการสังเคราะห์สารฟีนอลิก (Camm and Tower, 1973)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



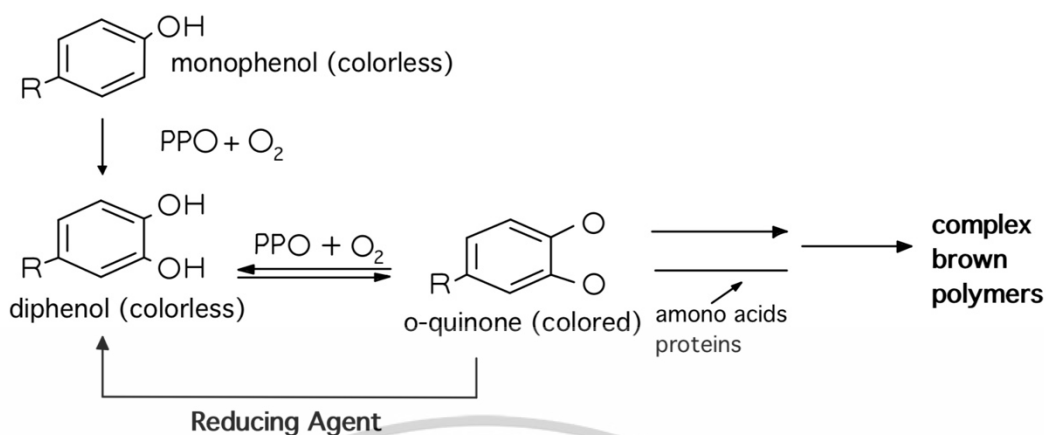
ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาการการสังเคราะห์สารฟีนอลิกโดยเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase

ที่มา : Kong, J.Q. (2015)

2.4.3 เอนไซม์ polyphenol oxidase

ปฏิกริยาของเอนไซม์ PPO มี 2 ปฏิกริยา คือ ปฏิกริยาไฮดรอกซิเลชัน ซึ่งเปลี่ยนสารโมโนฟีนอลไปเป็น *o*-diphenols และปฏิกริยาออกซิเดชัน โดยเปลี่ยน *o*-diphenols ไปเป็น *o*-quinones จากนั้นจะได้สารประกอบสีน้ำตาล เรียกว่า melanin ดังภาพที่ 2.2 (Whitaker *et al.*, 2002) เอนไซม์ PPO พบได้ในจุลินทรีย์ แบคทีเรีย เชื้อรา และพบมากในพืชและสัตว์ (Mayer and Harel, 1979) ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกและกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งความเข้มข้นของเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลิกในผักและผลไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน (He and Luo, 2007) ค่า pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO คือ pH ระหว่าง 5-7 เอนไซม์ PPO ไม่ทนความร้อนและสามารถถูกยับยั้งได้ด้วย halides acid, phenol acids, chelating agents, สารรีดิวซ์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก, สารจับควิโนน (quinone couplers) เช่น cysteine และสารประกอบอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่สามารถจับกับสารตั้งต้นได้ Murata *et al.* (1995) และ Murata *et al.* (2001) รายงานว่า การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อแอปเปิลมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมเอนไซม์ PPO กับปริมาณสารฟีนอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

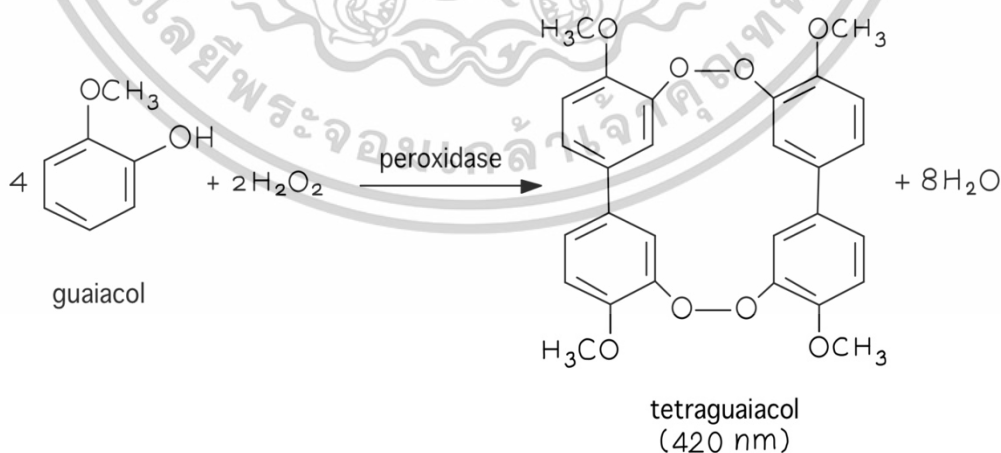


ภาพที่ 2.2 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase

ที่มา : Grotheer *et al.* (2012)

2.4.4 เอนไซม์ peroxidase

เอนไซม์ POD จะเกิดปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการที่ทำลายเนื้อเยื่อ โดยเอนไซม์ POD จะทำงานเมื่อสารประกอบฟีนอลิก อยู่ในรูป single electron oxidation และใช้ hydrogen peroxide ในการออกซิไดซ์สารฟีนอล ดังภาพที่ 2.3 (Cantos *et al.*, 2002) โดยเอนไซม์ POD เกี่ยวข้องกับเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพทางด้านกลิ่น รส สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา จากการศึกษาของ Aquino-Bolanos and Mercado-Silva (2004) พบว่า มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้นในมันแกว



ภาพที่ 2.3 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ peroxidase

ที่มา : Radulescu *et al.* (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิธีการลดหรือยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ต่าง ๆ มากมาย แบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

2.5.1 วิธีกล

เอนไซม์แต่ละชนิดสามารถทนความร้อนได้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและที่มาของเอนไซม์ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ (Mizobutsi *et al.*, 2010) แต่ความร้อนนั้นอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ โดยเฉพาะเนื้อสัมผัส กลิ่นและรส (Whitaker and Lee, 1995) อีกปัจจัยหนึ่งในการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ คือ ออกซิเจน (O_2) ดังนั้นการจำกัดปริมาณ O_2 ที่มาสัมผัสกับผักผลไม้สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ โดยการปรับสภาพบรรยากาศในการบรรจุภัณฑ์หรือการใช้สารเคลือบที่ป้องกันการเคลื่อนผ่านของ O_2 เช่น งานวิจัยของ Robles-Sánchez *et al.* (2013) รายงานว่า การใช้สารเคลือบ alginate-base ร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในมะม่วง ตัดแต่งให้ผลดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สารเคลือบหรือสาร anti-browning เพียงอย่างเดียวหนึ่ง

2.5.2 วิธีการใช้สารเคมี

สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็น anti-browning agent มีอยู่หลายกลุ่ม สารที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing compound) เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เช่น กรดแอสคอร์บิก, ซัลไฟต์, และสารลดแรงตึงผิวบางชนิด เป็นต้น (Eissa *et al.*, 2006) Mizobutsi *et al.* (2010) รายงานว่า เมื่อค่า pH น้อยกว่า 6.5 หรือมากกว่า 9.5 จะเกิดการเสียสภาพของโปรตีนทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้และในกลุ่มของ chelating agent เช่น DIECA, โซยานินด์, เมโทมาโซล, โทโพโลน และกรดโคจิก เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพแต่มีราคาสูงในอุตสาหกรรมอาหารจึงไม่นิยมใช้ (Moon *et al.*, 2020)

2.5.3 วิธีการใช้สารธรรมชาติ

สารสกัดจากธรรมชาติแต่ละชนิดมีสารออกฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์แตกต่างกันไป โดยส่วนมากเป็นกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก เช่น กรดไฮดรอกซิลซินนามิก (hydroxyl cinnamic acid) ที่พบในรำข้าวโดยมีองค์ประกอบหลัก คือ กรดพาราควมาริก และกรดเพอรูริก ซึ่งกรดพาราควมาริกทำหน้าที่เป็น substrate analogue ของไทโรซินและทำหน้าที่ยับยั้งกิจกรรมของ monophenolase และ diphenolase ในลักษณะ competitive inhibition (Qiu *et al.*, 2009) ส่วนกรดเพอรูริกทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ *p*-cresol (monophenol) แบบ competitive inhibition ทำให้เอนไซม์จับกับสารตั้งต้นได้น้อยลงและทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาแบบ non-competitive inhibition ในสารตั้งต้นที่เป็นกรดโคจิก (*o*-diphenol) ในมันฝรั่ง (Macrae and เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเบไซประโยชน์ดานการคาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duggleby, 1968) งานวิจัยของ Hemachandran *et al.* (2017) เมื่อสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุดพบ cyaniding-3-sophoroside เป็นองค์ประกอบหลักและมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO เนื่องจากโครงสร้างของ cyaniding-3-sophoroside มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวน 11 หมู่ที่มีบทบาทในการเข้าไปทำลายบริเวณเร่งของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาต่อไปได้ และงานวิจัยของ Tinello *et al.* (2018) และ Chaisakdanugull *et al.* (2007) พบว่า น้ำองุ่นและน้ำสับปะรดมีองค์ประกอบหลักเป็นกลุ่มของกรดออร์แกนิก เช่น กรดมาลิก กรดซิตริก มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงต่ำกว่าสถานะที่เหมาะสมที่เอนไซม์จะสามารถทำงานได้ ทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลและกล้วยที่หั่นสไลด์

2.6 การเกิดสีน้ำตาลในดอกไม้และการลดการเกิดสีน้ำตาล

ดอกไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลเป็นหนึ่งในปัญหาหลัก โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในนำไปสู่การเสื่อมสภาพของดอก เช่น การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของกลีบดอก และการเหี่ยวของดอกที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เนื่องจากกลีบดอกมีการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างมาก (นิธิยา รัตนาปนนท และคณัย บุญเกียรติ, 2556; Faragher and Mayak, 1984) เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อทำให้มีการรั่วไหลของสารละลายภายในเซลล์ ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่กระตุ้นการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้เร็วขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) สุพิชญ์พงศ์ ภูหวล และคณะ (2557) พบว่า การชะลอการเกิดสีน้ำตาลของดอกพุดตมระหว่างการรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 0, 100, 300, 500 และ 700 ppm น้ำหนัก 5 กรัม ใส่ถุงโพลีโพรพิลีน (PP) เก็บรักษาที่ 6 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า CaCl_2 ทุกความเข้มข้น สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลและการสูญเสียน้ำหนักได้ โดยดอกพุดที่ได้รับ CaCl_2 ความเข้มข้น 500 ppm เกิดสีน้ำตาล (28.90 เปอร์เซ็นต์) และสูญเสียน้ำหนักดอก (7.35 กรัม) น้อยที่สุด และมีอายุเก็บรักษานานที่สุด 13.75 วัน ขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 11.50 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของอัมพวรรณ สนันชัย และนิรมล สันติภาพวิวัฒนา (2551) ที่ได้ศึกษาการใช้ CaCl_2 เพื่อยืดอายุการปักแจกันในดอกหน้าวัว พันธุ์เปลวเทียน พบว่า การใช้ CaCl_2 ความเข้มข้น 0.01% สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนกลีบใบประดับดอกหน้าวัวได้ดีที่สุด การศึกษาการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในดอกนาร์ซิสซัส พบว่า GABA ช่วยยืดอายุการปักแจกันของดอกนาร์ซิสซัส โดยการรักษาดัชนีความคงตัวของเมมเบรน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ และน้ำหนักสด รวมถึงช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD (Krush and Rastegar, 2022) รายงานของ Girija *et al.* (2015) การแช่ดอกช่อนกลีในสารละลายกรดบอริก 4% เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากการทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C และผึ่งลมให้แห้งก่อนบรรจุช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาได้ถึง 6 วัน และการจุ่มดอกช่อนกลีในโซเดียมเบนโซเอต 50 ppm บรรจุในโพลีเอทิลีน (PE) ความหนา 50 ไมครอน เก็บไว้ในตู้เย็น ส่งผลให้อัตราการสูญเสียความชื้นจากดอกลดลง ลดการสูญเสียน้ำหนักทางสรีรวิทยา รักษาความสด อัตราการหายใจและกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำ ส่งผลให้ดอกแก่ช้าลงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงคุณภาพการเก็บรักษาที่ดีได้นานถึง 7 วัน (Baidya *et al.*, 2020) Anwara *et al.* (2021) พบว่าการใช้กรดออกซาลิก 6% ช่วยยืดอายุการปักแจกันและรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกกลีลี โดยลดการร่วงไหลของอิเล็กโทรไลต์และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และการศึกษาในดอกตูมของ *Jasminum grandiflorum* พบว่า เมื่อจุ่มด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน 20 ppm หลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ความหนา 200 เกจ โดยไม่มีการระบายอากาศ เก็บไว้ในสภาพห้องเย็น 7-8 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% มีอายุการเก็บรักษาสูงสุด และการจัดเก็บแบบตัดแปลงบรรยากาศ (MAP) ช่วยลดกิจกรรมของการผลิต PPO เอทิลีน และยังชะลอการพัฒนาของสีน้ำตาลในดอกไม้ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมการยับยั้ง CO₂ ในเอนไซม์ PPO (Mohanasundari *et al.*, 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของธัญญภัทร์ ศรีวิจารณ์ และคณะ (2559) พบว่า การแช่ดอกมะลิลาใน CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1% ทำให้เกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดและมีอายุการเก็บรักษาดอกมะลิลาในน้ำที่นานที่สุด 10 วัน และการแช่ดอกมะลิลาในกรดบอริก ความเข้มข้น 4% ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนกลีบดอกมะลิลาได้ (จิราพร บุญประเสริฐ และคณะ, 2561)

2.7 สารต้านอนุมูลอิสระจากดอกไม้

สารต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kumar, 2014) ช่วยกำจัดและลดปริมาณอนุมูลอิสระไม่ให้ไปทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อ สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งชนิดที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) และชนิดที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) (Del Rio, 2015; Jebur *et al.*, 2016) กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายรูปแบบ เช่น การกำจัดอนุมูล (free radicals scavenger) โดยสารที่ผ่านกลไกนี้ได้ เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA) และวิตามินอี, กลไกการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) เช่น สารประกอบฟลาโวนอยด์ยับยั้งการทำงานของ lipoxygenase โดยจับกับโลหะของเหล็กที่ทำหน้าที่เป็น cofactor ของเอนไซม์ (อนงนาฏ ไพนุพงศ์, 2560) สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่เป็นสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น พบมากในผักผลไม้และดอกไม้ การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากดอกไม้ในประเทศจีน พบว่า ดอกไม้กลุ่มสีแดงมีสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่ากลุ่มสีอื่น (Youwei *et al.*, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Piao *et al.* (2011) รายงานว่า ดอก *Camellia japonica* พบ สารประกอบฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น สาร quercetin, quercetin-3-o-glucoside และ kaempferol งานวิจัยของ Xu *et al.* (2012) พบว่า ในดอกดาวเรืองมีสารสำคัญหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ไทโอฟิน แคโรทีนอยด์ และในการศึกษาของ Ara and Nur (2009) พบว่า สารสกัดเมทานอลจากใบและดอกของ *Lippia alba* พบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* สูงกว่าสารมาตรฐาน (กรดแอสคอร์บิก) เมื่อวิเคราะห์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* ค่า IC₅₀ ของสารสกัดจากใบและดอก *Lippia alba* มีค่าเท่ากับ 34.4 µg/mL ส่วนกรดแอสคอร์บิกมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 40.8 µg/mL และในรายงานของ Kumar *et al.* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2008) สารสกัดน้ำจากดอก *Hibiscus tiliaceus* ความเข้มข้น 2,500 µg/mL พบการยับยั้งการเกิดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ 70.24% ส่วนกรดแอสคอร์บิก BHA และ α -โทโคฟีรอล ความเข้มข้น 50 µg/ml มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 85.57, 68.08 และ 74.45% ตามลำดับ และยังมีการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในดอกมะลิลา เช่น สุชาดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ (2558) รายงานว่า ดอกมะลิมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 851.138 ppm และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 0.693 mM Fe²⁺/g และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 97.333 ppm และสารสกัดหยาบของมะลิ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 37.07 µg/mL (กชกร ทองมาก และคณะ, 2564) แต่ในงานของสุธาทิพย์ อินทรกำธรชัย และคณะ (2556) พบว่า สารสกัดหยาบดอกมะลิมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* มีค่า IC₅₀ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 0.87 mg/mL และ 56.05 mgGAE/g ตามลำดับ เนื่องจากดอกมะลิที่มีแหล่งเพาะปลูกหรือฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน อาจทำให้มีสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันได้

น้ำมันหอมระเหยเป็นน้ำมันที่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ดอก ผล เปลือกผล เมล็ด ใบ ราก ลำต้นใต้ดิน เนื้อไม้ เปลือกไม้ ส่วนใหญ่มักมีกลิ่นและระเหยง่าย โดยน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีเฉพาะตัว โดยองค์ประกอบทางเคมีบางส่วนในน้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติในการระเหยทำให้ได้กลิ่นเฉพาะตัวของน้ำมันนั้น บริเวณที่พืชเก็บสะสมสารที่มีกลิ่น ได้แก่ ต่อม้ำมัน ในพืชวงศ์กะเพรา วงศ์ส้ม บริเวณเซลล์เนื้อเยื่อบาง ๆ รอบ parenchyma พบในบริเวณเนื้อเยื่อใกล้กับกลีบดอก ของพืช หรือพืชวงศ์จำปี วงศ์อบเชย (ฐาปนีย์ หงส์รัตนารกิจ, 2550) ในธรรมชาติ น้ำมันหอมระเหยช่วยป้องกันพืชจาก แบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา รวมถึงแมลงที่มาทำลายพืช ช่วยดึงดูดแมลงบางชนิดเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายของเมล็ดและเกสร น้ำมันหอมระเหยยังเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ เช่น น้ำมันหอมระเหยจากดอกคาโมมายล์ (*Matricaria chamomilla*) สามารถต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* มีค่า EC₅₀ 2.07 µg/mL (Stanojevic *et al.*, 2016) และ Hsouna *et al.* (2013) ได้ตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH* ในน้ำมันหอมระเหยจากดอก *Citrus aurantium* L. พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอก *C. aurantium* L. สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 1.8 µg/mL Abdoul-Latif *et al.* (2010) ได้ทำการตรวจสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหย *Jasminum sambac* ด้วยวิธี DPPH* พบว่า น้ำมันหอมระเหยและเมทานอล มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 7.43 และ 2.30 µg/mL ตามลำดับ และได้มีการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในการยืดอายุการปักแจกัน เช่น Dashtbany *et al.* (2015) ทำการศึกษาในเบญจมาศตัดดอก (*Dendranthema grandiflorum* L.) พบว่า การใช้ น้ำมันหอมระเหยเจอราเนียม 10% ช่วยยืดอายุการปักแจกันของดอกเบญจมาศนานที่สุด คือ 18.41 วัน เทียบกับชุดควบคุม (7.05 วัน) และพบว่า ดอกกลดดิโอลัสมีอายุการปักแจกันนานที่สุด เมื่อผสมน้ำมันหอมระเหยจากดอกเสจ (*Salvia*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

officinalis L.) และโรสแมรี่ 150 หรือ 100 mg/L ตามลำดับ อายุการปักแจกันเพิ่มขึ้น 88.16 และ 84.76% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Moussa *et al.*, 2024)

2.8 อิมัลชัน

น้ำมันหอมระเหยมีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการละลายน้ำ การพัฒนาให้อยู่ในรูปอิมัลชันจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน โดยอิมัลชันเกิดจากการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ทำละลายกัน เพื่อให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยการใช้สารลดแรงตึงผิว อิมัลชันชนิด O/W (oil in water) เริ่มจากการเตรียมส่วนผสมระหว่างน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวในสัดส่วนที่เหมาะสม จากนั้นค่อย ๆ หยดส่วนผสมลงในภาชนะบรรจุน้ำที่ละน้อย โดยใช้ไมโครปิเปต และภาชนะบรรจุน้ำตั้งอยู่บน Magnetic stirred plate ที่ควบคุมความเร็วรอบในการกวน อิมัลชันจะเกิดขึ้นระหว่างการกวนผสม (สุวิมล อริยประกาย, 2560) จากตารางที่ 2.1 ถ้ามีค่า hydrophilic lipophilic balance (HLB) ต่ำ จะจัดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ชอบละลายในน้ำมันมากกว่าน้ำ แต่ถ้ามีค่า HLB สูง จะจัดเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ชอบละลายในน้ำมากกว่าน้ำมัน ซึ่งการเตรียมอิมัลชันชนิด O/W ควรเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB อยู่ในช่วง 8-18 (ตารางที่ 2.2) แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชัน ได้แก่ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว, ชนิดของน้ำมัน, สัดส่วนที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวและน้ำมัน, สภาพการกวน, ชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่เติมเพิ่ม โดยสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ คือ Tween ได้แก่ Tween 20, Tween 40, Tween 60, Tween 80 และ Tween 85 (ตารางที่ 2.3) (Chang *et al.*, 2013; Saberi *et al.*, 2013a; Guttoff *et al.*, 2015; Saberi *et al.*, 2016b) โครงสร้างที่ต่างกันของสารลดแรงตึงผิว ทำให้มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลระหว่างพื้นผิววัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำต่างกันเกิดเป็นชั้นสารลดแรงตึงผิวที่มีความโค้งและความยืดหยุ่นต่าง ๆ ทำให้อนุภาคน้ำมันที่ผลิตได้มีขนาดแตกต่างกันตามชนิดของสารลดแรงตึงผิวนั้น ๆ และถ้ามีสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันในปริมาณน้อย อนุภาคน้ำมันที่ได้จะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าเพิ่มสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันในปริมาณที่มากขึ้น อนุภาคน้ำมันที่ได้จะมีขนาดเล็กลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้สัดส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อน้ำมันสูงถึงประมาณ 0.5–2.0 (ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 5–20% โดยน้ำหนัก ผสมในปริมาณน้ำมัน 10% โดยน้ำหนัก) จะสามารถผลิตอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็กระดับนาโนได้ (Chang *et al.*, 2013; Davidov-Pardo and McClements, 2015; Guttoff *et al.*, 2015; Komaiko and McClements, 2015) การเตรียมอิมัลชันโดยวิธีการเกิดอิมัลชันตัวเอง มีตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย เช่น น้ำมันไตรกลีเซอไรด์สายกลาง น้ำมันส้ม น้ำมันแร่ น้ำมันคาโนลา น้ำมันปลา น้ำมันเลมอน น้ำมันเมล็ดองุ่น น้ำมันมะกอก น้ำมันงา และน้ำมันถั่วลิสง พบว่า อิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันแต่ละชนิดมีขนาดอนุภาคน้ำมันไม่เท่ากัน โดยนาโนอิมัลชันที่ผลิตจากไตรกลีเซอไรด์สายกลาง (~100 นาโนเมตร) มีขนาดเล็กกว่าที่ผลิตจากน้ำมันจำพวกน้ำมันแตงกลีน (~900–1300 นาโนเมตร) และไตรกลีเซอไรด์สายยาว (>5 ไมโครเมตร) ตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน เช่น ความหนืด ความหนาแน่น แรงตึงผิว พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นกับขนาดอนุภาคน้ำมันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคน้ำมัน (Komaiko and McClements, 2015) โดยส่วนใหญ่ความเร็วรอบของ magnetic stirrer ที่ใช้ในการเตรียมนาโนอิมัลชันจะอยู่ในช่วง 200–800 รอบต่อนาที ในระยะเวลา 10-15 นาที แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 200 รอบต่อนาทีเป็น 800 รอบต่อนาที อิมัลชันมีขนาดอนุภาคที่เล็กลงเกือบครึ่งหนึ่ง (Guttoff *et al.*, 2015 ; Saberi *et al.*, 2013a)

ตารางที่ 2.1 แสดงการประมาณค่า HLB โดยใช้สมบัติการละลายน้ำ

ค่า HLB	ลักษณะสารละลายของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ
1 - 4	ไม่ละลาย
4 - 7	กระจายตัวได้เล็กน้อยไม่เสถียร
7 - 9	กระจายตัวสีขาวขุ่นมีความเสถียร
10 - 13	กระจายตัวได้สารละลายค่อนข้างใส
13 - 20	กระจายตัวได้ดีสารละลายใส

ที่มา : วรรณิ อุไพบูรณ์ (2547)

ตารางที่ 2.2 แสดงการนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้งานตามค่า HLB

ค่า HLB	ลักษณะสารละลายของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ
1 - 3	สารป้องกันการเกิดฟอง (Antifoaming agent)
3 - 6	อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier agents (W/O emulsion))
7 - 9	Wetting agents
8 - 13	อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier (O/W emulsion))
13 - 16	สารซักฟอก (Detergent)
16 - 18	Solubilizing agents

ที่มา : วรรณิ อุไพบูรณ์ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี	ค่า HLB
Tween 20	Polyoxyethylene sorbitan monolaurate	16.7
Tween 40	Polyoxyethylene sorbitan monopalmitate	15.6
Tween 60	Polyoxyethylene sorbitan monostearate	14.9
Tween 80	Polyoxyethylene sorbitan monooleate	15.0
Tween 85	Polyoxyethylene sorbitan trioleate	11.0
Span 20	Sorbitan monolaurate	8.6
Span 80	Sorbitan monooleate Polyoxyethylene	4.3
Span 83	Sorbitan Sesquioleate	3.7
Span 85	Sorbitan Trioleate	1.8

ที่มา : วรณี อุไพบูรณ์ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พืชทดลองและสถานที่ทดลอง

พืชทดลอง คือ ดอกมะลิลา พันธุ์ราชบุรณะ จากสวนมะลิ จังหวัดพิจิตร เก็บเกี่ยวในช่วงเช้า มีด โดยเก็บเกี่ยวในระยะดอกตูมทางการค้า อายุ 12- 14 วันหลังปรากฏตุ่มดอก มีลักษณะดอกตูมสีขาวนวล และนำมาบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) ภายในกล่องโฟมรองพื้นด้วยน้ำแข็งบด ส่งมายังห้องปฏิบัติการภายใน 5 ชั่วโมง และดำเนินการทดลองภายในห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำดอกมะลิลาออกจากกล่องโฟมทันทีและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส

3.2 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของดอกมะลิลาในหลอดทดลอง

นำเอนไซม์สกัดหยาบจากดอกมะลิลามาทดสอบกิจกรรมของ PAL, PPO และ POD โดยทดสอบกับน้ำมันหอมระเหย 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทชชาติ ก้านแดง และมะลิลา เพื่อมาคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 0.1 กรัม ละลายในเอทานอล 99% เปรียบเทียบกับ ascorbic acid ที่เป็นสารมาตรฐานและมีน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม จำนวน 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ascorbic acid 0.17%

กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากดอกกุหลาบ 1%

กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากดอกดาวเรือง 1%

กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุด 1%

กรรมวิธีที่ 6 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดง 1%

กรรมวิธีที่ 7 น้ำมันหอมระเหยจากดอกมะลิลา 1%

บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL

สกัดเอนไซม์โดยนำดอกมะลิลา 30 กรัม เติมด้วยสารละลาย 0.05 M borate Buffer (pH 8.5) 100 มิลลิลิตร ที่มี 0.005 M 2-mercaptoethanol 34.96 ไมโครลิตร และ polyvinylpyrrolidone (PVP) 2.5 กรัม ตกตะกอนเศษพืชและหมุ่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารละลายส่วนใส 0.3 มิลลิลิตร ใน borate buffer (pH 8.5) 3 มิลลิลิตร จากนั้นเติม L-Phenylalanine 0.7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มใน Water Bath อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหยุดปฏิกิริยาด้วย 5 M hydrochloric acid 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร คำนวณหา กิจกรรมของเอนไซม์โดยกำหนดให้ 1 ยูนิตของ PAL คือ ปริมาณเอนไซม์ซึ่งทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น 0.01 หน่วย ในเวลา 1 ชั่วโมง รายงานค่าเป็นหน่วย ยูนิต/ ชั่วโมง/กรัม

3.2.2 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO

เตรียมเอนไซม์สกัดหยาบ 45 กรัม บั่นให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันใน 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 150 มิลลิลิตร ที่มี polyvinylpyrrolidone (PVP) 3.75 กรัม และตกตะกอนเศษพืชและหมุ่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสเป็นแหล่งเอนไซม์ และนำมาทำปฏิกิริยาในหลอดทดลอง เตรียมส่วนผสมระหว่าง catechol 0.13 กรัม เตรียมใน 0.05 M sodium phosphate buffer (pH 7.0) ปริมาตร 120 มิลลิลิตร เติมสารละลายส่วนใส 0.75 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นหรือ ascorbic หรือน้ำมันหอมระเหย 0.1 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร และบันทึกผลทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที คำนวณหา กิจกรรมของเอนไซม์โดยกำหนดให้ 1 ยูนิตของ PPO คือ ปริมาณเอนไซม์ซึ่งทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น 0.01 หน่วย ในเวลา 1 นาที รายงานค่าเป็นหน่วย ยูนิต/นาที/กรัม

3.2.3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD

เตรียมเอนไซม์สกัดหยาบ 45 กรัม บั่นให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันใน 0.05 M phosphate buffer (pH 7.0) 150 มิลลิลิตร ที่มี polyvinylpyrrolidone (PVP) 3.75 กรัม และตกตะกอนเศษพืชด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสเป็นแหล่งเอนไซม์ นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาทำการทดสอบด้วยวิธี POD ทำปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลอง เตรียมสารตั้งต้นที่ประกอบด้วย guaiacol 0.4% จำนวน 0.1 มิลลิลิตร, hydrogen peroxide 0.46% จำนวน 0.1 มิลลิลิตร และ 0.05 M sodium phosphate buffer (pH 7.0) 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นหรือ ascorbic หรือน้ำมันหอมระเหย 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นาเปเชบระยเสนดานการคา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตร บันทึกผลทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที คำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์โดยกำหนดให้ 1 หน่วยของ POD คือ ปริมาณเอนไซม์ซึ่งทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร เพิ่มขึ้น 0.01 หน่วย ในเวลา 1 นาที รายงานค่าเป็นหน่วย หน่วย/นาที/กรัม

3.2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ตัวอย่าง วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ one-way analysis of variance เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี tukey test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.3 การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงในรูปอิมัลชัน

เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง โดยใช้สารลดแรงตึงผิวหลัก (surfactant) ได้แก่ Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ได้แก่ Span20, Span80, Span83 และ Span85 จากนั้นเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงกับสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด (S_{mix}) ให้เข้ากันในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3.5 และ 1:4 โดยน้ำหนัก วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน

บันทึกผล

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของระบบอิมัลชันแต่ละสูตร โดยการสังเกตด้วยตาเปล่า (visual observation) ดังนี้

- การแยกชั้นครีม (creaming) น้ำมันรวมตัวกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และลอยตัวขึ้นด้านบนเป็นชั้นครีมขุ่น
- การตกตะกอน (sedimentation) น้ำมันเกาะกลุ่มกันลอยลงมาด้านล่างของภาชนะ
- ออสวอลด์ไรเพนิง (ostwald ripening) ชั้นน้ำมันลอยแยกอยู่ด้านบนเหนือผิวน้ำ เรียกว่า การเกิดวงแหวน (ring)

3.3.2 การวัดขนาดและการกระจายอนุภาค

คัดเลือกสูตรน้ำมันหอมระเหยที่มีความเสถียรนำไปวัดขนาดอนุภาคและการกระจายอนุภาค (Polydispersity Index; PI) ด้วยเครื่อง Nano particle analyzer โดยวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคโดยใช้หลักการกระเจิงของแสงแบบพลวัต (dynamic light scattering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของอนุภาคมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) รายงานเป็นค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง

3.3.3 วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน

คัดเลือกสูตรน้ำมันหอมระเหยที่มีความเสถียรไปวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ด้วยเครื่อง Nano particle analyzer

3.4 การทดลองที่ 3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลา ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง

นำน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 เจือจางด้วยเอทานอล 99% ความเข้มข้น 0.125-1% และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 85 เจือจางด้วยน้ำกลั่น ความเข้มข้น 0.125-1% และนำไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล จำนวน 10 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.125%

กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.25%

กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.5%

กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.75%

กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 1%

กรรมวิธีที่ 6 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.125%

กรรมวิธีที่ 7 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.25%

กรรมวิธีที่ 8 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.5%

กรรมวิธีที่ 9 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.75%

กรรมวิธีที่ 10 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 1%

3.4.1 การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ POD

วิเคราะห์วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 3.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ซ้าย่อย จากนั้นนำข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล โดยใช้วิธีการ paired-samples T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.5 การทดลองที่ 4 การทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง

นำน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงเจือจางด้วยเอทานอล 99% ความเข้มข้น 0.125-1% และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 85 เจือจางด้วยน้ำกลั่น ความเข้มข้น 0.125-1% และนำไปทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จำนวน 10 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.125%

กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.25%

กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.5%

กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.75%

กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 1%

กรรมวิธีที่ 6 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.125%

กรรมวิธีที่ 7 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.25%

กรรมวิธีที่ 8 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.5%

กรรมวิธีที่ 9 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.75%

กรรมวิธีที่ 10 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 1%

บันทึกผล

3.5.1 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*

เติมน้ำมันหอมระเหย 2 มิลลิลิตร และ DPPH 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีของ Ebrahimzadeh *et al.* (2010) โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH}^{\bullet} (\%) = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

$$A_{\text{control}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม}$$

$$A_{\text{sample}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}$$

และคำนวณค่า EC_{50} ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง ในการกำจัดอนุมูล DPPH[•]

3.5.2 การแย่งจับกับไอออนโลหะ

เติมน้ำมันหอมระเหย 1 มิลลิลิตร, 2mM FeSO₄ 1 มิลลิลิตร และเติม Ferrozine 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร คำนวณหากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีของ Dinis *et al.* (1994) โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการแย่งจับไอออนโลหะ} (\%) = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

$$A_{\text{control}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม}$$

$$A_{\text{sample}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}$$

และคำนวณค่า EC_{50} ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง ในการจับกับไอออนโลหะ

3.5.3 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

เติมน้ำมันหอมระเหย 1 มิลลิลิตร, 0.2 M phosphate buffer (pH 6.6) 2.5 มิลลิลิตร และ K₃Fe(CN)₆ 1% ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เติม trichloroacetic acid 10% 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3000 รอบ ต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมน้ำกลั่นละลายส่วนใส 2.5 มิลลิลิตร, น้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และ FeCl₃ 0.1% ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

3.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี paired-samples T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดลองที่ 5 ศึกษาความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิาระหว่างการเก็บรักษา

เตรียมนาโนอิมัลชันโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิว Tween และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span (S_{mix}) คือ Tween80 ร่วมกับ Span85 ในอัตราส่วน 4:1 และอัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยต่อสารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ 1:4 เนื่องจากเป็นสูตรที่ทำให้ระบบนาโนอิมัลชันมีความเสถียรมากหลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน จากนั้นคัดเลือกดอกมะลิที่มีลักษณะสมบูรณ์ ขนาดสม่ำเสมอ สดใหม่จากต้น ไม่บาน ไม่มีตำหนิ ปราศจากโรคแมลง แล้วมาล้างทำความสะอาด จากนั้นแช่ดอกมะลิด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 5 นาที ผึ่งให้แห้งและเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน (PP) ที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-95% เป็นเวลา 9 วัน บันทึกเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของดอกมะลิ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ถัง ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 สารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) ความเข้มข้น 0.8%

กรรมวิธีที่ 3 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.001%

กรรมวิธีที่ 4 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.005%

กรรมวิธีที่ 5 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.01%

กรรมวิธีที่ 6 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.05%

กรรมวิธีที่ 7 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.1%

กรรมวิธีที่ 8 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.2%

บันทึกผล

3.6.1 การประเมินกลิ่น

ประเมินกลิ่นเฉพาะของดอกมะลิและประเมินกลิ่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้แช่ดอกมะลิ าดัดแปลงจากวิธีการของ Marappan *et al.* (2011) โดยมีเกณฑ์ดังนี้

3.6.1.1 ประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย

ใช้เกณฑ์การให้คะแนน 3 ระดับ บันทึกผลทุก 3 วัน ดังนี้

0 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยปานกลาง

2 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยชัดเจน

3.6.1.2 ประเมินกลิ่นของดอกมะลิลา

ใช้เกณฑ์การให้คะแนน 3 ระดับ บันทึกผลทุก 3 วัน ดังนี้

0 = มีกลิ่นหอมของมะลิลาเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่น

1 = มีกลิ่นหอมของมะลิลาปานกลาง

2 = มีกลิ่นหอมของมะลิลา ไม่มีกลิ่นแปลกปลอมหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์

3.6.2 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*)

บันทึกค่าสีทุก 3 วัน วัดโดยใช้ colorimeter (Konica Minolta, CR-10 Plus, Japan)

ค่า L^* = ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

ค่า a^* = ค่าแสดงช่วงสีเขียวถึงสีแดง ค่า a เป็นลบ (-) คือ สีเขียว และค่า a เป็นบวก (+) คือ สีแดง

ค่า b^* = ค่าแสดงช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ค่า b เป็นลบ (-) คือ สีน้ำเงิน และค่า b เป็นบวก (+) คือ สีเหลือง

3.6.3 ดัชนีความคงตัวของสี

ดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลา ประเมินจากการบานของดอกและสีของกลีบดอก จำนวน 50 ดอก ดัดแปลงจากวิธีการของ Marappan *et al.* (2011) โดยทำการประเมินแต่ละดอก มีเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 3.1 บันทึกผลทุก 3 วัน แล้วนำมาคำนวณค่าดัชนีความคงตัวของสีจากสูตร










$$\text{ดัชนีความคงตัวของสี} = \frac{(9 \times X_1) + (8 \times X_2) + (7 \times X_3) + (6 \times X_4) + (5 \times X_5) + (4 \times X_6) + (3 \times X_7) + (2 \times X_8) + (1 \times X_9)}{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9)} \times 100$$

3.6.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ตัวอย่าง วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ one-way analysis of variance เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี tukey test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์การให้คะแนนของดอกมะลิตามการเปลี่ยนแปลงสีกลีบดอกและการเกิดสีน้ำตาล

ลักษณะของดอก	คะแนน	จำนวนดอก	เกณฑ์การให้คะแนน
ดอกตูม สีขาว	9	X_1	
ดอกเริ่มบานถึงครึ่งดอก สีขาว	8	X_2	
ดอกบานครึ่งดอกถึงทั้งดอก สีขาว	7	X_3	
ดอกเริ่มบานถึงครึ่งดอก สีครีม	6	X_4	
ดอกบานครึ่งดอกถึงทั้งดอก สีครีม	5	X_5	
ดอกเริ่มบานถึงครึ่งดอก สีน้ำตาล 25-50%	4	X_6	
ดอกบานครึ่งดอกถึงทั้งดอก สีน้ำตาล 25-50%	3	X_7	
ดอกเริ่มบานถึงครึ่งดอก สีน้ำตาล 75-100%	2	X_8	
ดอกบานครึ่งดอกถึงทั้งดอก สีน้ำตาล 75-100%	1	X_9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษา ก้านแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา

เตรียมนานาโนอิมัลชัน โดยใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพุทธรักษา ก้านแดง ที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิว Tween และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span (S_{mix}) คือ Tween80 ร่วมกับ Span85 ในอัตราส่วน 4:1 และอัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยต่อสารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ 1:4 เนื่องจากเป็นสูตรที่ทำให้ระบบนาโนอิมัลชันมีความเสถียรมากที่สุดหลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน คัดเลือกดอกมะลิที่มีลักษณะสมบูรณ์ ขนาดสม่ำเสมอ สดใหม่จากต้น ไม่บาน ไม่มีตำหนิ ปราศจากโรคแมลง คัดเลือกดอกมะลิจำนวน 50 ดอก ล้างทำความสะอาด จากนั้นแช่ดอกมะลิด้วยนาโนอิมัลชันที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 5 นาที ผึ่งให้แห้งและเก็บในถุงโพลีโพรพิลีน (PP) ที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80-95% เป็นเวลา 12 วัน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ถัง ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษา ก้านแดง ความเข้มข้น 0.05%

กรรมวิธีที่ 3 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษา ก้านแดง ความเข้มข้น 0.1%

กรรมวิธีที่ 4 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษา ก้านแดง ความเข้มข้น 0.2%

บันทึกผล

3.7.1 การสูญเสียน้ำหนัก

บันทึกน้ำหนักสดทุก 3 วัน นำไปคำนวณการสูญเสียน้ำหนักตามสูตร ดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3.7.2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

บันทึกปริมาณน้ำสัมพัทธ์ทุก 3 วัน ตามวิธีของ Chakrabarty *et al.* (2009) คำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)}$$

FW = น้ำหนักสดของกลีบดอก

TW = กลีบดอกที่บวมหลังจากอิมัตว์ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

DW = น้ำหนักของกลีบดอกไม้แห้ง (อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*)

บันทึกค่าสีทุก 3 วัน วัดโดยใช้ colorimeter (Konica Minolta, CR-10 Plus, Japan)

ค่า L^* = ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

ค่า a^* = ค่าแสดงช่วงสีเขียวถึงสีแดง ค่า a เป็นลบ (-) คือ สีเขียว และค่า a เป็นบวก (+) คือ สีแดง

ค่า b^* = ค่าแสดงช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ค่า b เป็นลบ (-) คือ สีน้ำเงิน และค่า b เป็นบวก (+) คือ สีเหลือง

3.7.4 การประเมินกลิ่น

ประเมินกลิ่นเฉพาะของดอกมะลิลาและประเมินกลิ่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้แ่ดอกมะลิลา ดัดแปลงจากวิธีการของ Marappan *et al.* (2011) โดยมีเกณฑ์ดังนี้

3.7.4.1 ประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย

ใช้เกณฑ์การให้คะแนน 3 ระดับ บันทึกผลทุก 3 วัน ดังนี้

0 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่น

1 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยปานกลาง

2 = มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยชัดเจน

3.7.4.2 ประเมินกลิ่นหอมของดอกมะลิลา

ใช้เกณฑ์การให้คะแนน 3 ระดับ บันทึกผลทุก 3 วัน ดังนี้

0 = มีกลิ่นหอมของมะลิลาเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่น

1 = มีกลิ่นหอมของมะลิลาปานกลาง

2 = มีกลิ่นหอมของมะลิลา ไม่มีกลิ่นแปลกปลอมหรือกลิ่นไม่พึงประสงค์

3.7.5 ดัชนีความสดและดัชนีความคงตัวของสี

ดัชนีความสดและดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลา ประเมินการบานของดอกและสีกลีบดอก จำนวน 50 ดอก ดัดแปลงจากวิธีการของ Nirmala and Reddy (1993) โดยทำการประเมินแต่ละดอก มีเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 3.1 บันทึกผลทุก 3 วัน จากนั้นนำมาคำนวณค่าดัชนีความสดจากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีความสดและดัชนีความคงตัวของสี =





$$\left(\frac{(9 \times X_1) + (8 \times X_2) + (7 \times X_3) + (6 \times X_4) + (5 \times X_5) + (4 \times X_6) + (3 \times X_7) + (2 \times X_8) + (1 \times X_9)}{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9) \times 9} \right) \times 100$$

3.7.6 ดัชนีการบานของดอกมะลิลา

ประเมินการบานของดอกมะลิลา จำนวน 50 ดอก ดัดแปลงจากวิธีการของ Marappan *et al.* (2011) ทำการประเมินแต่ละดอก โดยมีเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 3.2 บันทึกผลทุก 3 วัน จากนั้นนำมาคำนวณดัชนีการบานของดอกจากสูตร

$$\text{ดัชนีการบาน} = \left(\frac{(0 \times X_1) + (1 \times X_2) + (2 \times X_3) + (3 \times X_4)}{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) \times 9} \right) \times 100$$

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การให้คะแนนการบานของดอกมะลิลา

ระยะการบานของดอก	คะแนน	จำนวนดอก	เกณฑ์การให้คะแนน
ดอกตูม	0	X_1	
ดอกเริ่มบาน	1	X_2	
ดอกบานครึ่งดอก	2	X_3	
ดอกบานเต็มที่	3	X_4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.7 การวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

ตัดกลีบดอกมะลิให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 10 วง ทั้งหมด 2 ชุด จากนั้นใส่ น้ำ 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร และใส่กลีบดอกมะลิ 10 วง ลงไปในหลอดทดลอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Sadasivam *et al.* (2020) โดยชุดที่ 1 (C1) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และชุดที่ 2 (C2) นำมาต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมากรองกากออก และวัดค่าการรั่วไหลของประจุด้วยเครื่อง EC meter คำนวณปริมาณ Electrolyte leakage ดังนี้

$$\text{Electrolyte leakage (\%)} = \frac{C1}{C2} \times 100$$

3.7.8 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์

บดตัวอย่างดอกมะลิ 0.5 กรัม ผสมกับ 0.1% trichloroacetic acid 5 มิลลิลิตร นำไปหมუნเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนที่ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติม 0.5% thiobarbituric acid ที่ละลายใน trichloroacetic acid 20% ปริมาณ 4 มิลลิลิตร นำไปต้ม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปหมუნเหวี่ยงอีกครั้งที่ 6,000 รอบต่อนาที 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาค่า malondialdehyde (MDA) ตามวิธีของ Heath and Packer (1968) โดยใช้สูตร

$$\text{MDA} = (A_{532} - A_{600}) \times 10^6 / (1.55 \times 10^5) \mu\text{M/cm}$$

A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

A_{600} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

3.7.9 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*

นำตัวอย่างดอกมะลิ 0.5 กรัม สกัดในเอทานอล 95% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน กรองสารละลายส่วนใสมาใช้ โดยใช้สารละลายส่วนใส 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันกับ DPPH 2 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีของ Ebrahimzadeh *et al.* (2010) โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคำนวณค่า EC_{50} ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง ในการกำจัดอนุมูล DPPH*

3.7.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

นำตัวอย่างดอกมะลิลา 0.5 กรัม สกัดในเอทานอล 95% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นกรองเอาสารละลายส่วนใสมาใช้ โดยใช้สารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 4.5 มิลลิลิตร และ Folin 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเติม Na_2CO_3 95% ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร คำนวณความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกจากกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic acid ในหน่วย mg of gallic acid equivalents/g (DW)

3.7.11 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นำตัวอย่างดอกมะลิลา 0.5 กรัม มาบดในโกรงให้ละเอียดใส่สารละลาย trichloroacetic acid 0.1% ปริมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บสารละลายส่วนใสไว้ จากนั้นนำสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติมน้ำ phosphate buffer (pH 7) 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย potassium iodide 2 มิลลิลิตร นำสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คำนวณปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีหน่วยเป็น nmol/g (FW)

3.7.12 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ PAL

วิเคราะห์วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 3.2.1

3.7.13 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ PPO

วิเคราะห์วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 3.2.2

3.7.14 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ POD

วิเคราะห์วิธีการเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 3.2.3

3.7.15 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 3 ตัวอย่าง วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ one-way analysis of variance เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี tukey test ที่

ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของดอกมะลิลาในหลอดทดลอง

4.1.1 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL

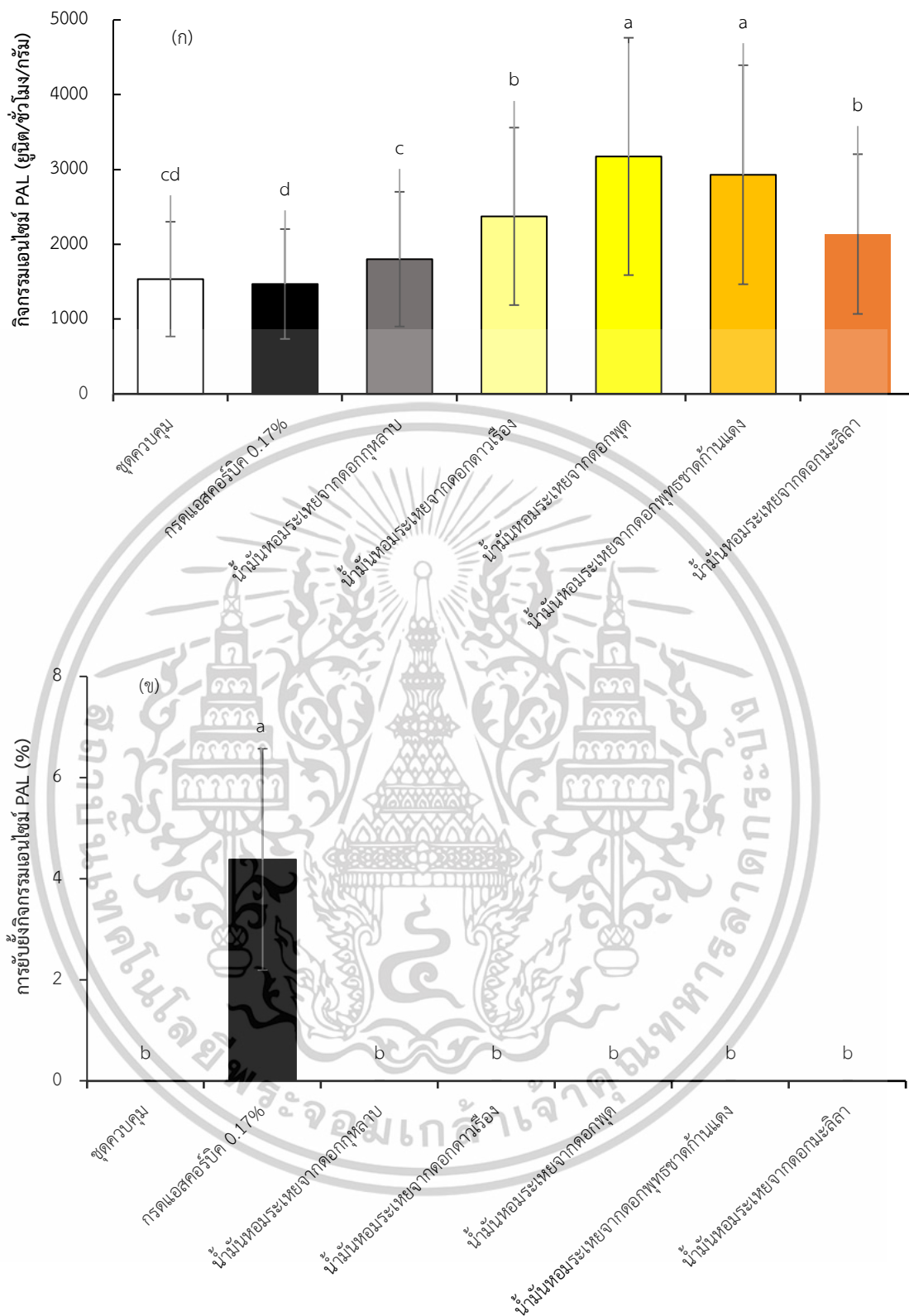
จากการทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทธรักษา ก้านแดง และมะลิลา ความเข้มข้น 1% เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% และน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PAL จากดอกมะลิลาที่ทดสอบในหลอดทดลอง ผลการศึกษาพบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ต่ำที่สุด เท่ากับ 1469.33 ยูนิต/ชั่วโมง/กรัม และไม่ต่างกับชุดควบคุม พบกิจกรรมของเอนไซม์ 1534.52 ยูนิต/ชั่วโมง/กรัม ขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่ศึกษาพบกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูงกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 4.1 ก) เมื่อนำค่ากิจกรรมของเอนไซม์มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PAL และกำหนดให้ชุดควบคุมมีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ PAL เท่ากับ 0 พบว่า กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ 4.26% ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่ศึกษาไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL (ภาพที่ 4.2 ข)

4.1.2 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO

การทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทธรักษา ก้านแดง และมะลิลา ความเข้มข้น 1% เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% และน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO จากดอกมะลิลาที่ทดสอบในหลอดทดลอง พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.17% มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีกิจกรรมของเอนไซม์ เท่ากับ 134.17 ยูนิต/นาที/กรัม ขณะที่การใช้น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้พบกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 4.2 ก) เมื่อนำค่ากิจกรรมของเอนไซม์มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PPO และกำหนดให้ชุดควบคุมมีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ PPO เท่ากับ 0 พบว่า กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.17% ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ 19.11% และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ในทางสถิติ ขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ที่ศึกษาไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ภาพที่ 4.2 ข)

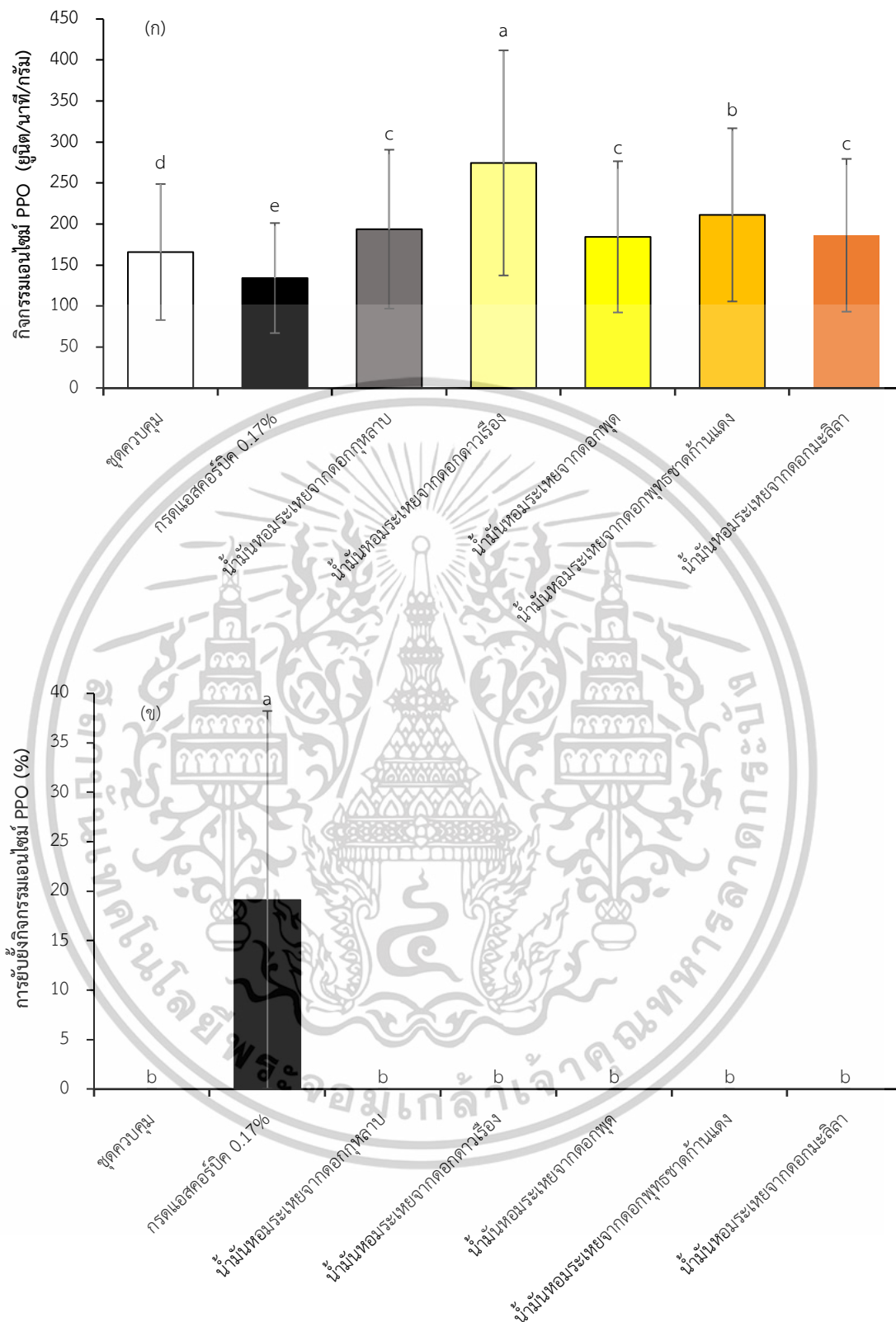
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PAL (ยูนิต/ซัวโมง/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL (%) จากดอกมะลิลา (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



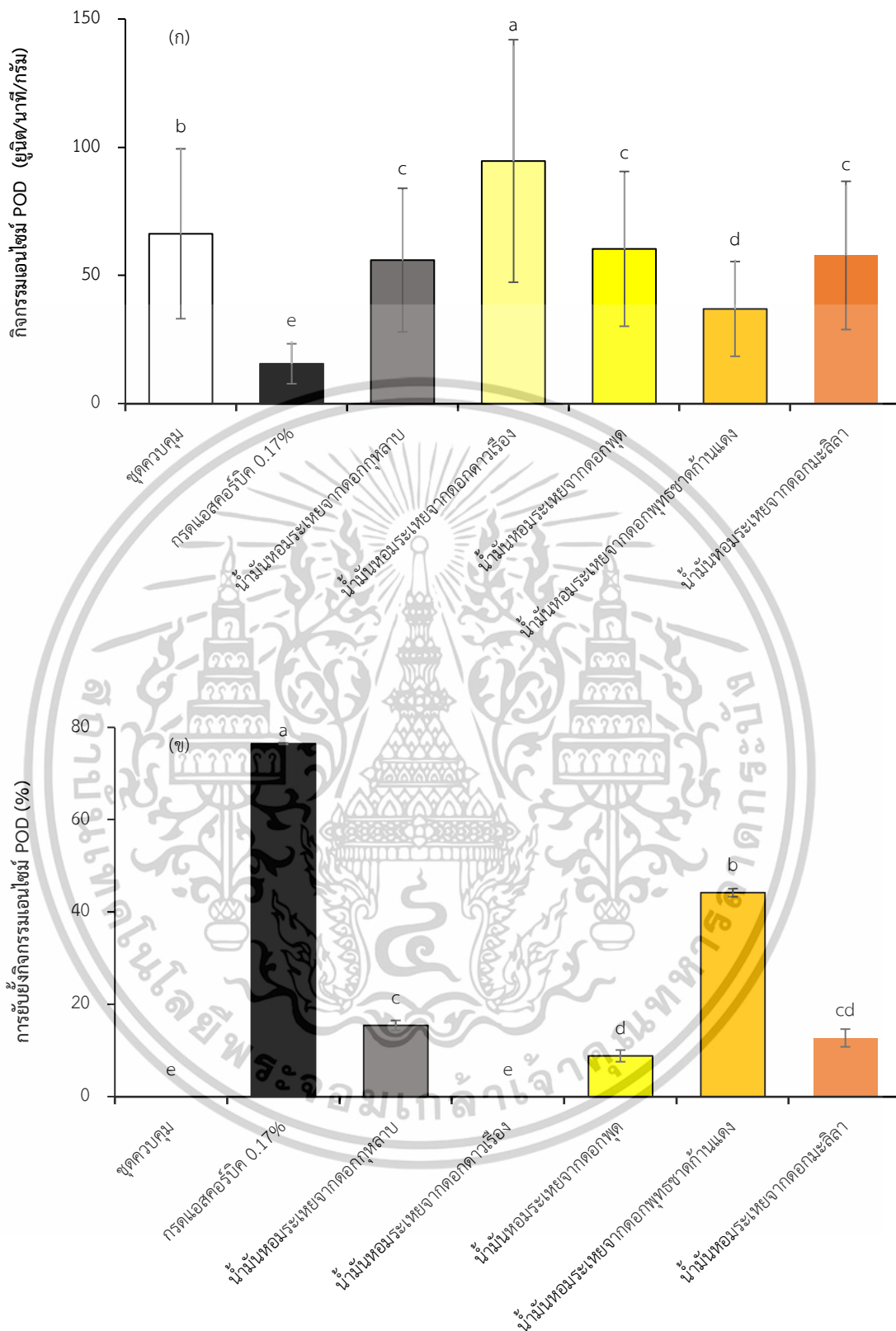
ภาพที่ 4.2 ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (ยูนิต/นาที/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (%) ในดอกมะลิลา (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD

ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทชชาติก้านแดง และมะลิลา ความเข้มข้น 1% เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% และน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลาที่ทดสอบในหลอดทดลอง ผลการศึกษาพบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.17% มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เกิดขึ้นต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ เท่ากับ 15.59 ยูนิต/นาที/กรัม ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดง ดอกกุหลาบ และดอกพุด มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากดอกดาวเรืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 4.3 ก) เมื่อนำค่ากิจกรรมของเอนไซม์มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ POD และกำหนดให้ชุดควบคุมมีกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ POD เท่ากับ 0 พบว่า กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.17% ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์สูงสุด เท่ากับ 19.11% รองลงมาคือ น้ำมันหอมระเหยดอกพุทชชาติก้านแดง ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ 44.21% (ภาพที่ 4.3 ข)

การทดสอบผลการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ PAL, PPO และ POD ในดอกมะลิลาที่ทดสอบในหลอดทดลอง โดยใช้ น้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทชชาติก้านแดง และมะลิลา ความเข้มข้น 1% เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐานความเข้มข้น 0.17% และน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม พบว่า การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของชุดควบคุมเป็น 0 ขณะที่กรดแอสคอร์บิก 0.17% มีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดสูงสุด ส่วนผลการทดสอบการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทชชาติก้านแดง มีผลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุด และเลือกไปปรุงแต่งผลิตภัณฑ์อิมัลชันด้วยการใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยให้แขวนลอยในน้ำ ทำการเจือจางด้วยน้ำและนำไปทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลและการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล



ภาพที่ 4.3 ผลของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ POD (ยูนิต/นาที/กรัม) ในดอกมะลิลา (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD (%) ในดอกมะลิลา

(ข) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ในรูปอิมัลชัน

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง โดยใช้สารลดแรงตึงผิวหลัก (surfactant) ได้แก่ Tween 20, Tween 40, Tween 60 และ Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ได้แก่ Span 20, Span 80, Span 83 และ Span 85 ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3.5 และ 1:4 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม (S_{mix}) ในอัตราส่วน 4:1 โดยน้ำหนัก วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน ประเมินลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอิมัลชันด้วยสายตา โดยปรากฏการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 4.4)

ลักษณะที่ 1 อิมัลชันมีลักษณะเป็นน้ำมันสีขาวเนื้อเดียวกัน

ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างใส

ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน

ลักษณะที่ 4 เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน

ลักษณะที่ 5 ตกตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน



ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง

การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงผสมกับ S_{mix} ที่ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิว Tween 20 ร่วมกับ Span 20 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:3, 1:3.5 และ 1:4 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน ในอัตราส่วน 1:2 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 มีตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน ในอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 เกิดวงแหวนด้านบนอิมัลชันและเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน (ภาพที่ 4.5)

เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงผสมกับ Tween 40 ร่วมกับ Span 20 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ทุกอัตราส่วนยกเว้นอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน และในอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างใส (ภาพที่ 4.5)

เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงผสมกับ Tween 60 ร่วมกับ Span 20 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:3.5 และ 1:4 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน ในอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างใส และในอัตราส่วน 1:3 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 เกิดวงแหวนด้านบนอิมัลชันและเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน (ภาพที่ 4.5)

เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงผสมกับ Tween 80 ร่วมกับ Span 20 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:3.5 และ 1:4 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน ในอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 มีตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน และในอัตราส่วน 1:3 อิมัลชันมีความคงตัวในลักษณะที่ 1 อิมัลชันมีลักษณะเป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 4.5)
















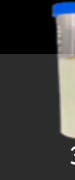







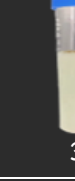


























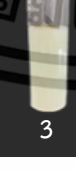





เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงผสมกับ Tween 80 ร่วมกับ Span 80 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2.5, 1:3 และ 1:3.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน ในอัตราส่วน 1:2 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 เกิดวงแหวนด้านบนอิมัลชันและเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน ส่วนในอัตราส่วน 1:4 อิมัลชันมีความคงตัวในลักษณะที่ 1 เป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 4.5)

เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงผสมกับ Tween 80 ร่วมกับ Span 83 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:3, 1:3.5 และ 1:4 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน และในอัตราส่วน 1:2 และ 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 มีตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน (ภาพที่ 4.5)

เตรียมสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงผสมกับ Tween 80 ร่วมกับ Span 85 (อัตราส่วน 4:1) พบว่า ในอัตราส่วน 1:0.5, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน ในอัตราส่วน 1:2.5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 เกิดวงแหวนด้านบนอิมัลชันและเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน ในอัตราส่วน 1:3 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 มีตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน และในอัตราส่วน 1:3.5 และ 1:4 อิมัลชันมีความคงตัวในลักษณะที่ 1 เป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน

(ภาพที่ 4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน	อัตราส่วนน้ำมันหอมระเหย : สารลดแรงตึงผิว (S_{mix})							
S_{mix}	1:0.5	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.5	1:4
Tween20: Span20 (4:1)								
Tween40: Span20 (4:1)								
Tween60: Span20 (4:1)								
Tween80: Span20 (4:1)								
Tween80: Span80 (4:1)								
Tween80: Span83 (4:1)								
Tween80: Span85 (4:1)								

ภาพที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดง โดยมีลักษณะดังนี้ อิมัลชันมีลักษณะเป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน (1), แยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างใส (2), วงแหวนด้านบน (3), การแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับการเกิดวงแหวน (4) และตกตะกอนด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวน (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดขนาดอนุภาค ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน และการกระจายอนุภาค

น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง และส่วนผสมของ Tween 80 ร่วมกับ Span 20, Span 80 และ Span 85 ในอัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:3.5 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) โดยมีขนาดอนุภาค คือ 261.2, 225.8 และ 139.8 นาโนเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) เป็นอิมัลชันที่มีความเสถียร มีลักษณะเป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน ซึ่งจัดอยู่ในระดับไมโครอิมัลชัน และน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง 3 กรัม ผสมกับ Tween 80 (สารลดแรงตึงผิวหลัก) และ Span 85 อัตราส่วน 1:4 มีขนาดของอนุภาคอยู่ที่ 70.2 ± 0.39 นาโนเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับนาโนอิมัลชัน

เมื่อศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเสถียรของระบบอิมัลชัน ผลการศึกษาพบว่า สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 20 Span 80 และ Span 85 มีค่าศักย์ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง -2.58 ถึง -5.43 มิลลิโวลต์ (ตารางที่ 4.1)

เมื่อเปรียบเทียบดัชนีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันจากสูตรต่าง ๆ พบว่า อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวรอง Span 20, Span 80 และ Span 85 มีดัชนีการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ในช่วง 0.261 ถึง 0.312 และการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันหอมระเหยพุทธรักษาแดงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 85 มีดัชนีการกระจายตัวของอนุภาคต่ำที่สุด คือ 0.191 (ตารางที่ 4.1)

จากการทดลองเตรียมสูตรอิมัลชัน พบว่า อิมัลชันที่มีลักษณะน้ำนมสีขาวเป็นเนื้อเดียวกัน มีทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 20 (1:3), Span 80 (1:4) และ Span 85 (1:3.5 และ 1:4) และพบว่า อิมัลชันที่เตรียมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ร่วมกับ Tween 80 และ Span 85 (อัตราส่วน 1:4) ทำให้ได้อิมัลชันที่เสถียร มีขนาดอนุภาคเล็ก มีดัชนีการกระจายตัวของอนุภาคต่ำเหมาะสำหรับการใช้ในงานทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.1 ขนาดของอิมัลชัน ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน และดัชนีการกระจายขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง

สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจาก ดอกพุทธรักษาแดง (น้ำมันหอมระเหย : สารลดแรงตึงผิว โดยน้ำหนัก)	ขนาดอนุภาค น้ำมัน (นาโนเมตร)	ค่าศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	ดัชนีการ กระจายตัว
Oil : Tween 80 + Span 20 (1:3)	261.2±2.36	-5.43	0.308±0.012
Oil : Tween 80 + Span 80 (1:4)	225.8±2.67	-2.58	0.261±0.006
Oil : Tween 80 + Span 85 (1:3.5)	139.8±0.80	-5.13	0.312±0.003
Oil : Tween 80 + Span 85 (1:4)	70.2±0.39	-4.05	0.191±0.005

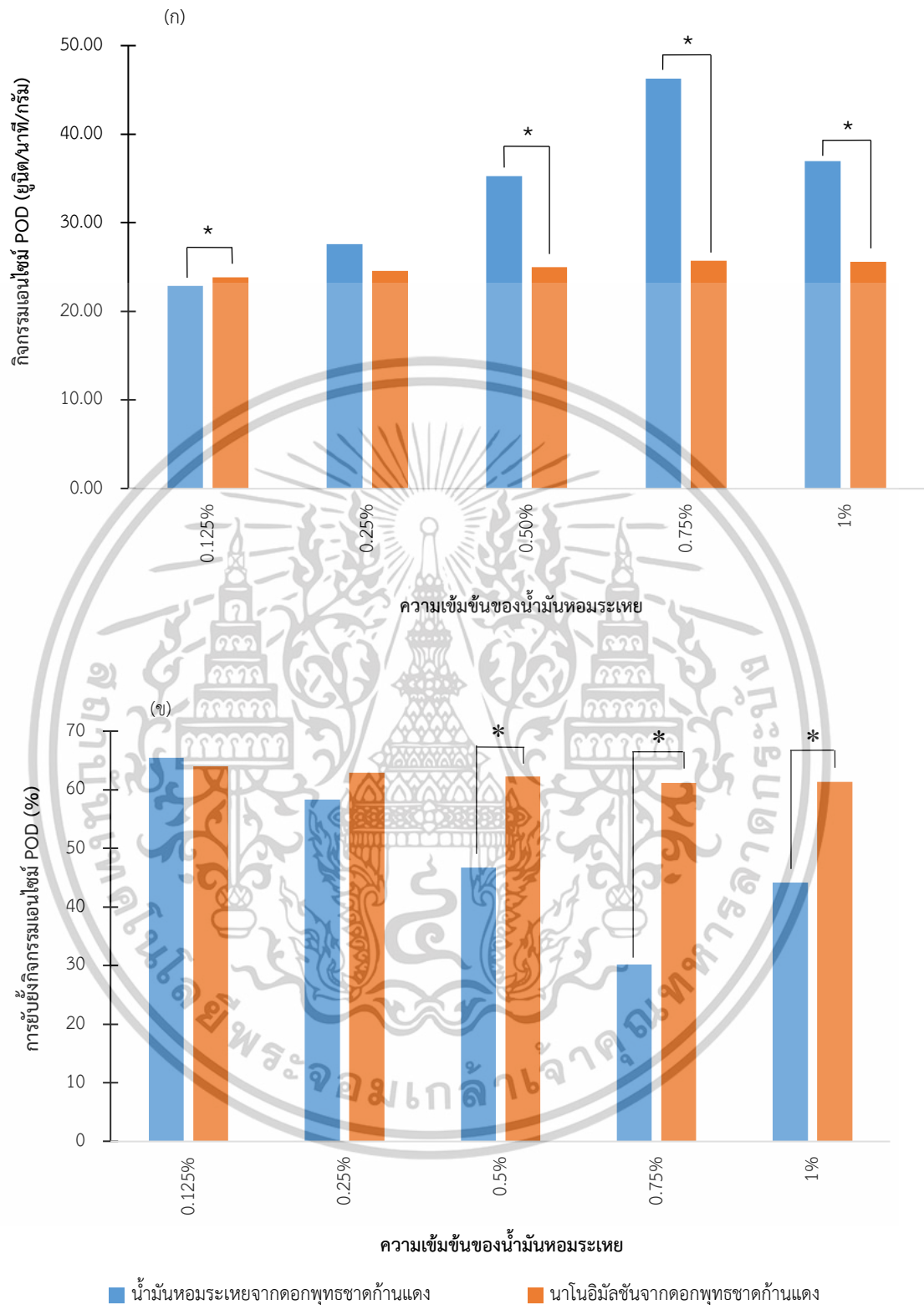


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 3 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลา ระหว่าง น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง

จากผลการทดลองที่ 1 น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ PAL และ PPO ในการทดลองจึงศึกษาเปรียบเทียบการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลา ระหว่าง น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง

การทดสอบเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยพุทธรักษาบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.125-1% ต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงเจือจางด้วยเอทานอล ความเข้มข้น 0.75% มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุดเท่ากับ 46.26 ยูนิต/นาที/กรัม อย่างไรก็ตาม ทุกกรรมวิธีของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ POD ต่ำกว่านาโนอิมัลชันและไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.6 ก) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ POD ระหว่าง น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชัน พบว่า น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันทุกความเข้มข้น มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ต่ำ โดยน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ความเข้มข้น 0.125% มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุด คือ 65.48% และทุกกรรมวิธีที่เปรียบเทียบกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.6 ข)



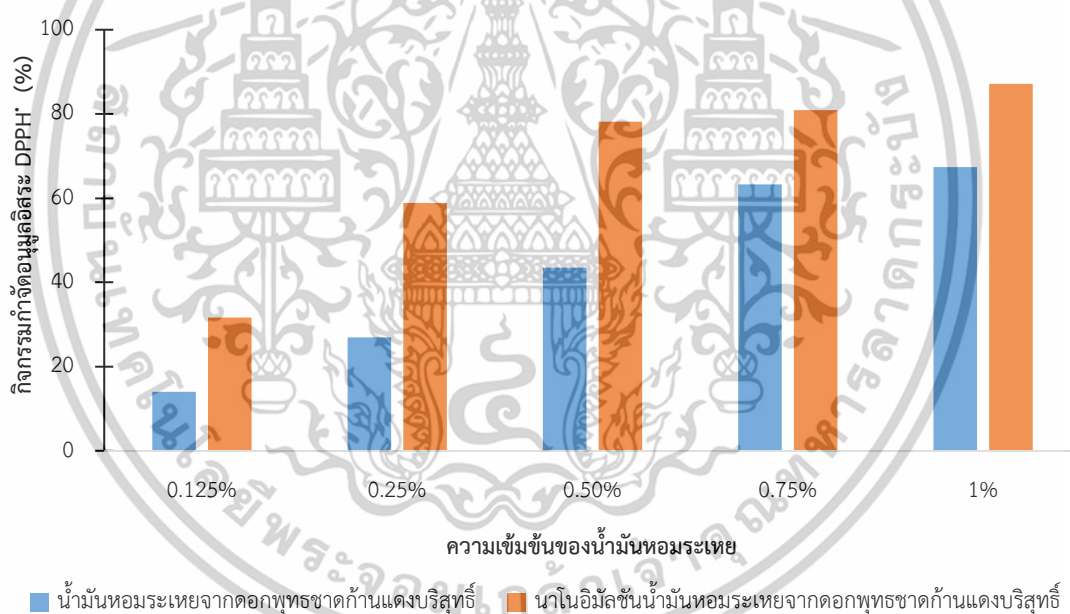
ภาพที่ 4.6 ความสามารถของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงต่อการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ POD (ยูนิต/นาที/กรัม) (ก) และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD (%) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง

4.4.1 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*

การทดสอบเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง ความเข้มข้น 0.125-1% ต่อการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH* ผลการศึกษาพบว่า นาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 0.75% มีค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูล DPPH* ระหว่าง 58.93-73.93% สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่ากิจกรรม 26.91-63.33% ส่วนน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง ความเข้มข้น 0.125 และ 1% ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.7) เมื่อนำค่ากิจกรรมในการกำจัดอนุมูล DPPH* ของน้ำมันหอมระเหยมาคำนวณค่า EC_{50} จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่า นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH* สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ (ตารางที่ 4.2)



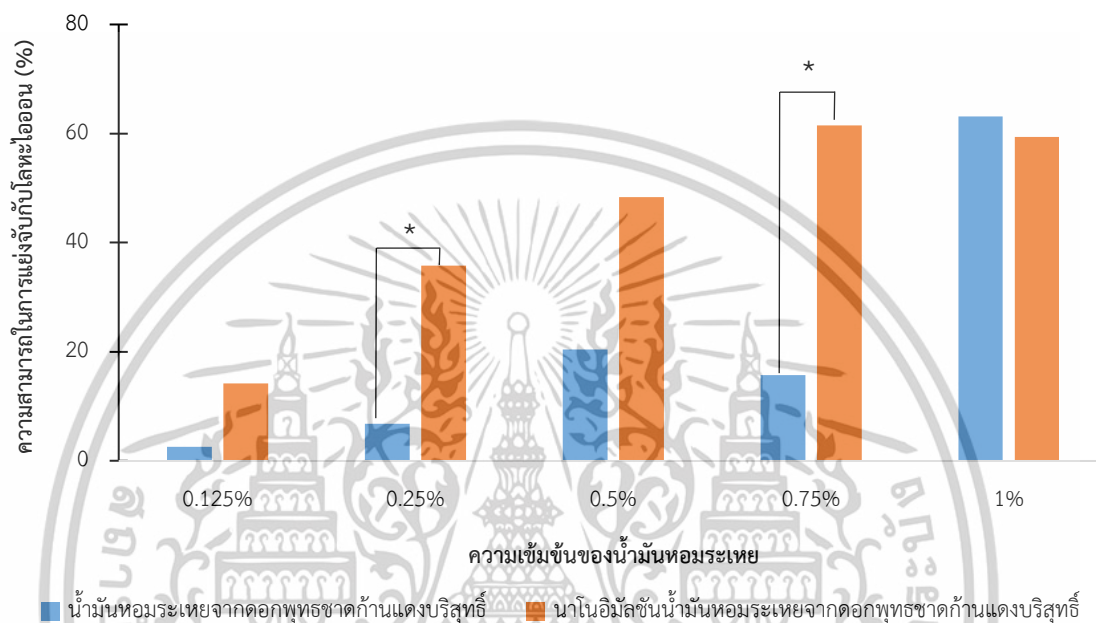
ภาพที่ 4.7 กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง

4.4.2 ความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะ

การทดสอบเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแกง ความเข้มข้น 0.125-1% ต่อการแย่งจับกับไอออนโลหะ ผลการศึกษาพบว่า นาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.25 และ 0.75% ความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะ เท่ากับ 6.85 และ 3.86% ตามลำดับ สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเข้าสู่ตลาดเห็นาเบไซบระเยชันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

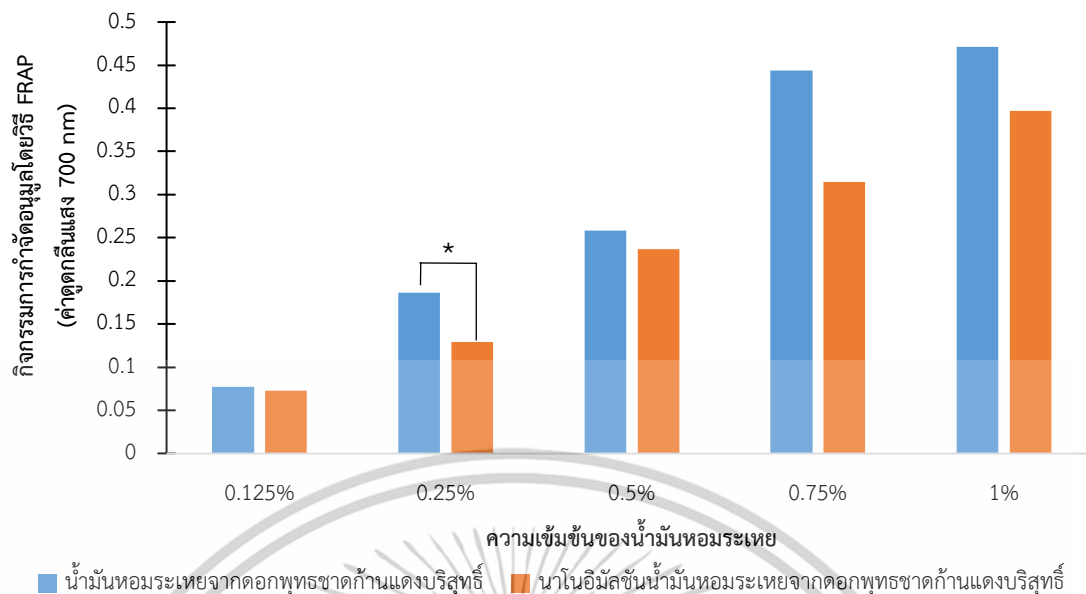
การแย่งจับกับไอออนโลหะ เท่ากับ 37.12 และ 63.69% ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแฉกแดง ความเข้มข้น 0.125, 0.5 และ 1% ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.8) เมื่อนำค่าความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะของน้ำมันหอมระเหยมาคำนวณค่า EC_{50} จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่า นาโนอิมัลชันมีความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะสูงกว่า น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ (ตารางที่ 4.2)



ภาพที่ 4.8 ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะโดยวิธี Metal chelating activity ระหว่าง น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแฉกแดง

4.4.3 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

การทดสอบเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์กับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแฉกแดง ความเข้มข้น 0.125-1% ต่อการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ความเข้มข้น 0.25% มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.186 สูงกว่านาโนอิมัลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าดูดกลืนแสง เท่ากับ 0.129 ส่วนน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ความเข้มข้น 0.125, 0.5, 0.75 และ 1% มีค่าดูดกลืนแสงระหว่าง 0.078 - 0.471 ขณะที่นาโนอิมัลชัน มีค่าดูดกลืนแสงระหว่าง 0.073 - 0.397 (ภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถิ่นแดง

ตารางที่ 4.2 ค่า EC_{50} การกำจัดอนุมูล DPPH* และการแย่งจับกับไอออนโลหะของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถิ่นแดง

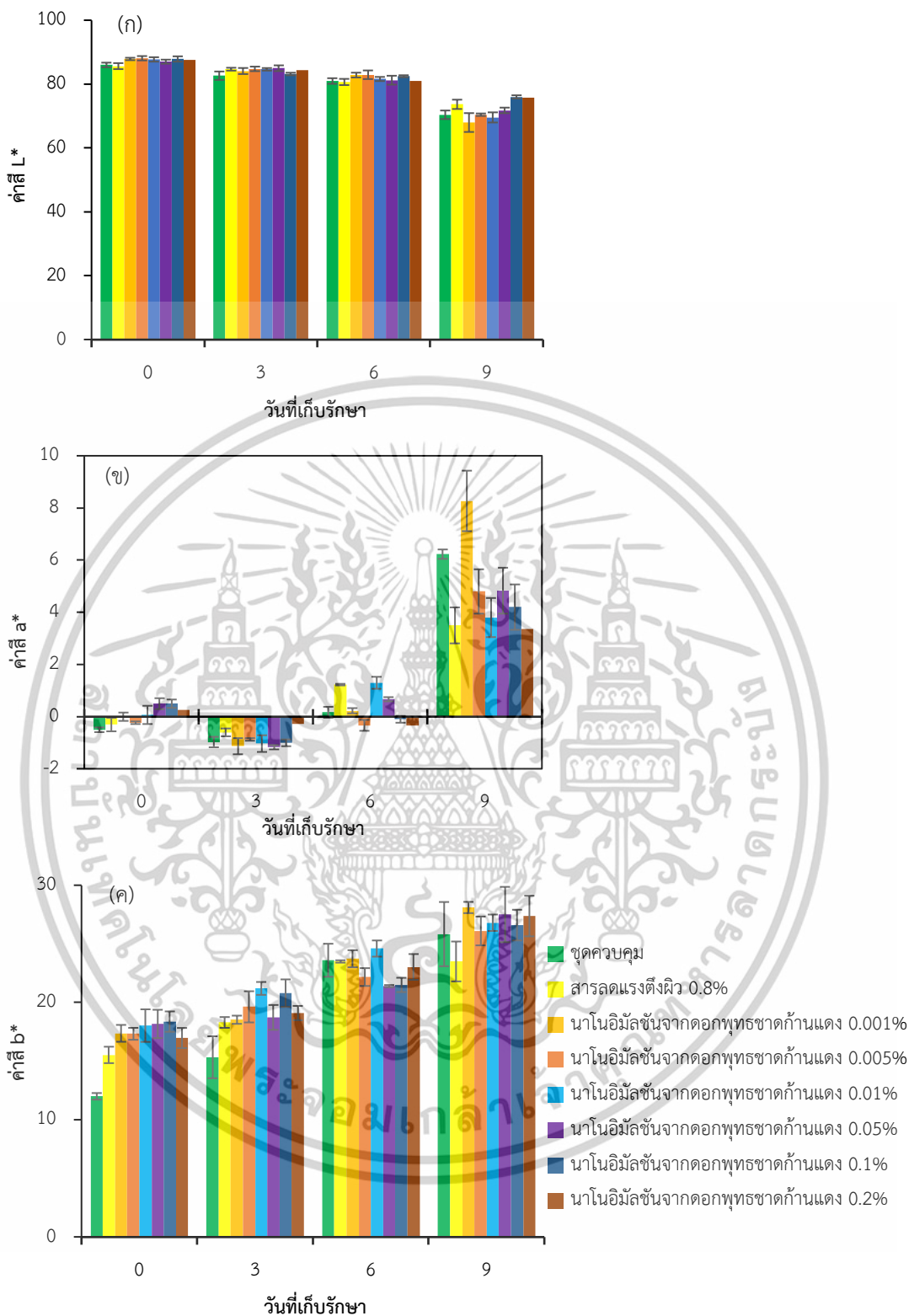
กรรมวิธี	EC_{50} การกำจัดอนุมูล DPPH* (%)	EC_{50} การแย่งจับกับไอออนโลหะ (%)
น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์	0.53±0.27	6.21±0.64
นาโนอิมัลชัน	0.21±0.80	0.51±0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา

4.5.1 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*)

การเปลี่ยนแปลงสีกลีบดอกมะลิแสดงเป็นระบบค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงช่วงสีเขียวถึงสีแดง และค่า b^* แสดงช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มลดลงในทุกกรรมวิธี โดยชุดควบคุมมีค่าลดลงมากที่สุด (ภาพที่ 4.10 ก) ในวันที่ 0, 3 และ 6 ค่า a^* ของกลีบดอกมะลิในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มอยู่ในช่วง 0 ถึง -2 แสดงให้เห็นว่า กลีบดอกอยู่ในช่วงสีเขียว โดยในวันที่ 0 และ 3 ชุดที่ได้นาโนอิมัลชันทุกความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม และในวันที่ 9 พบว่า ค่าสี a^* เพิ่มขึ้นอย่างมากในทุกกรรมวิธี ชุดควบคุมและชุดที่ได้นาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.001% มีค่า a^* สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้น 0.8% และชุดที่ได้นาโนอิมัลชันความเข้มข้นต่าง ๆ (ภาพที่ 4.10 ข) ส่วนค่า b^* (ค่าความเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในวันที่เริ่มทำการทดลองและวันที่ 3 ชุดควบคุมมีค่า b^* ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวและชุดที่ได้นาโนอิมัลชัน ในวันที่ 6 ชุดที่ได้นาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.005, 0.05 และ 0.1% มีค่า b^* ต่ำสุดแตกต่างกับกรรมวิธีอื่น ๆ และในวันที่ 9 สารลดแรงตึงผิวมีค่า b^* ต่ำกว่าชุดควบคุมและชุดที่ได้นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงทุกความเข้มข้น (ภาพที่ 4.10 ค)

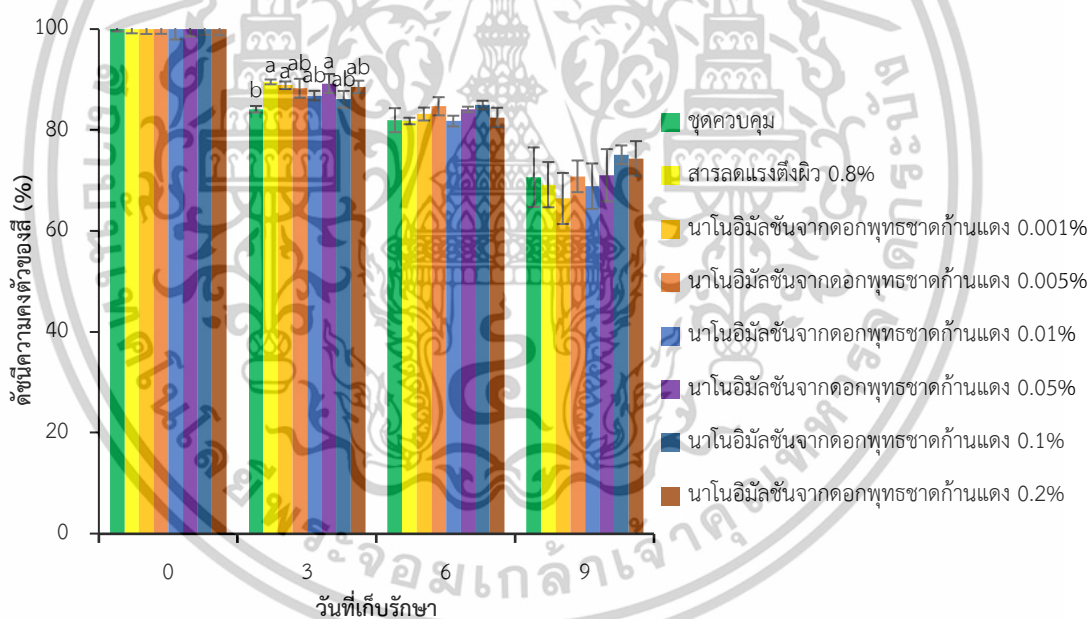


ภาพที่ 4.10 ค่าสี L* (ก), a* (ข) และ b* (ค) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดง ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ดัชนีความคงตัวของสี

ผลการศึกษาค่าดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลา (ภาพที่ 4.11) พบว่า ในวันเริ่มต้นทำการทดลอง ค่าความคงตัวของสีไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 80% แสดงถึงความสดของดอกมะลิลาที่ยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเห็นได้ชัด ในวันที่ 3 ค่าดัชนีความคงตัวของสีลดลงในทุกกรณี โดยชุดควบคุมมีค่าความคงตัวของสีต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชันและชุดที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียว และในวันที่ 6 และ 9 สารลดแรงตึงผิวมีค่าดัชนีความคงตัวของสีใกล้เคียงกับชุดควบคุม และชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแฉก ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2% ยังคงรักษาค่าดัชนีความคงตัวของสีในระดับสูงได้ต่อเนื่องตลอดระยะเวลาเก็บรักษา จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแฉกมีประสิทธิภาพในการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีได้ดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียว โดยชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2% แสดงศักยภาพสูงสุดในการรักษาความคงตัวของสีของดอกมะลิลาในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.11 ดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแฉก ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน

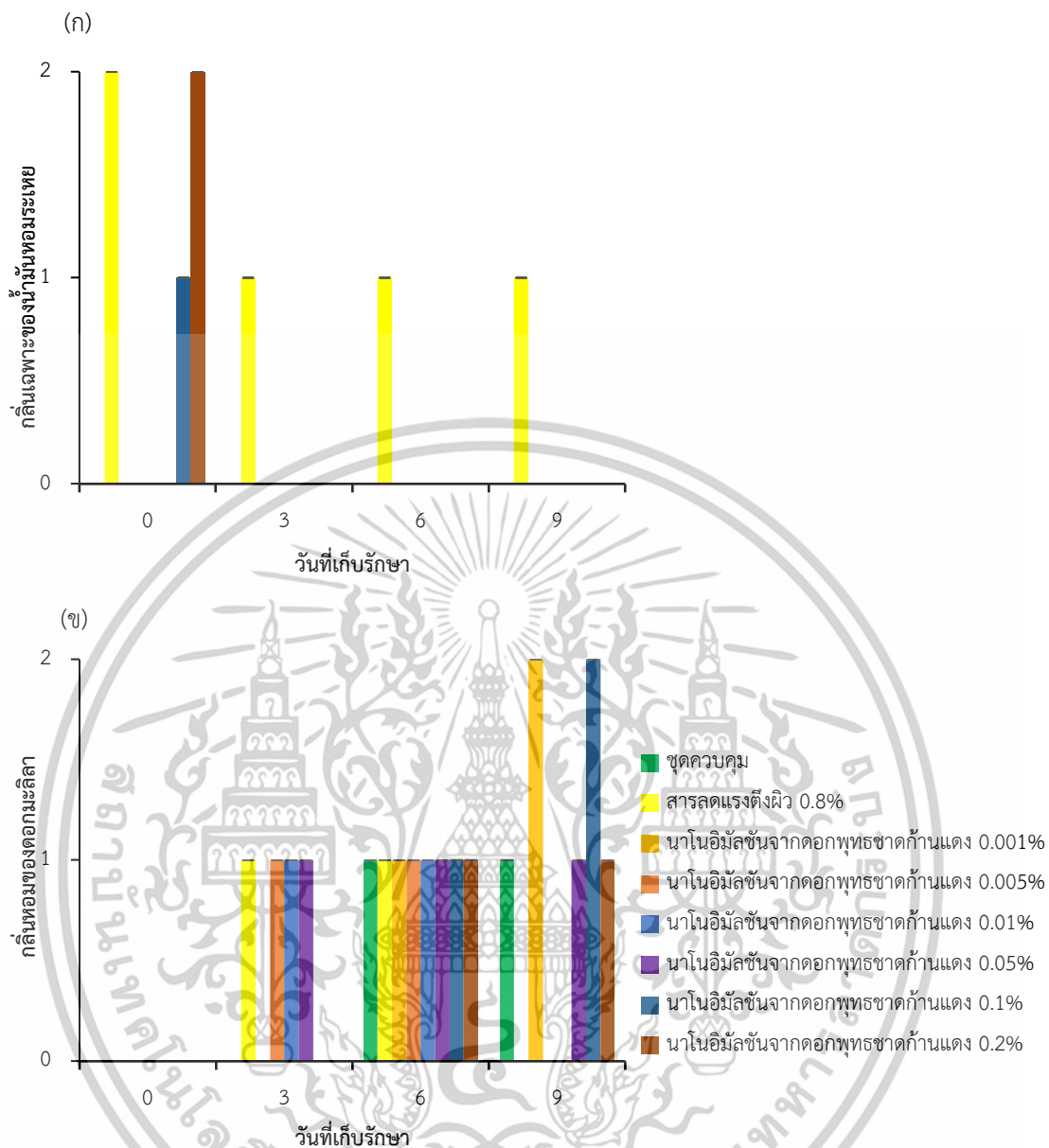
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหยและกลิ่นหอมของดอกมะลิลา

การประเมินกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.12 ก) พบว่า ในวันที่ เริ่มทำการทดลอง ดอกมะลิลาที่ได้รับสารลดแรงตึงผิว มีกลิ่นของสารลดแรงตึงผิวระดับรุนแรง (2 คะแนน) แต่มีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันที่ 9 โดยมีกลิ่นของสารลดแรงตึงผิวปานกลาง (1 คะแนน) ในขณะที่ชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาความเข้มข้น 0.2% มีกลิ่นของสารลดแรงตึงผิวระดับรุนแรง (2 คะแนน) และชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาความเข้มข้น 0.1% มีกลิ่นของสารลดแรงตึงผิวปานกลาง (1 คะแนน) แต่เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นก็ไม่พบกลิ่นของน้ำมันหอมระเหย

การประเมินกลิ่นหอมของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.12 ข) พบว่า ในวัน เริ่มต้นการทดลองทุกกรรมวิธีไม่มีกลิ่นหอมของดอกมะลิลา และในวันที่ 3 ดอกมะลิลาที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวและชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.005-0.05% มีกลิ่นหอมของดอกมะลิลาปานกลาง (1 คะแนน) และในวันที่ 6 ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันและมีกลิ่นหอมของดอกมะลิลาปานกลาง (1 คะแนน) ส่วนในวันที่ 9 สารลดแรงตึงผิวและชุดที่ได้รับนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.005 และ 0.01% ไม่พบกลิ่นหอมของดอกมะลิลา แต่ชุดที่รับนาโนอิมัลชัน 0.001 และ 0.1% มีกลิ่นหอมของดอกมะลิลารุนแรง

ผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) และสารลดแรงตึงผิว 0.8% ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา พบว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01% มีผลการยับยั้งสีน้ำตาลไม่แตกต่างกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลเชิงบวกกับดอกมะลิลาในด้านกลิ่น ในการทดลองสุดท้าย จึงไม่นำสารลดแรงตึงผิวมาทดสอบต่อ ดังนั้นจึงคัดเลือกนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เพื่อไปทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลาต่อไป



ภาพที่ 4.12 คะแนนการประเมินคุณภาพกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย (ก) และกลิ่นหอมของดอกมะลิลา (ข) ในดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 และ 0.2% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารลดแรงตึงผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองที่ 6 การศึกษาประสิทธิภาพของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดงต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิระหว่างการเก็บรักษา

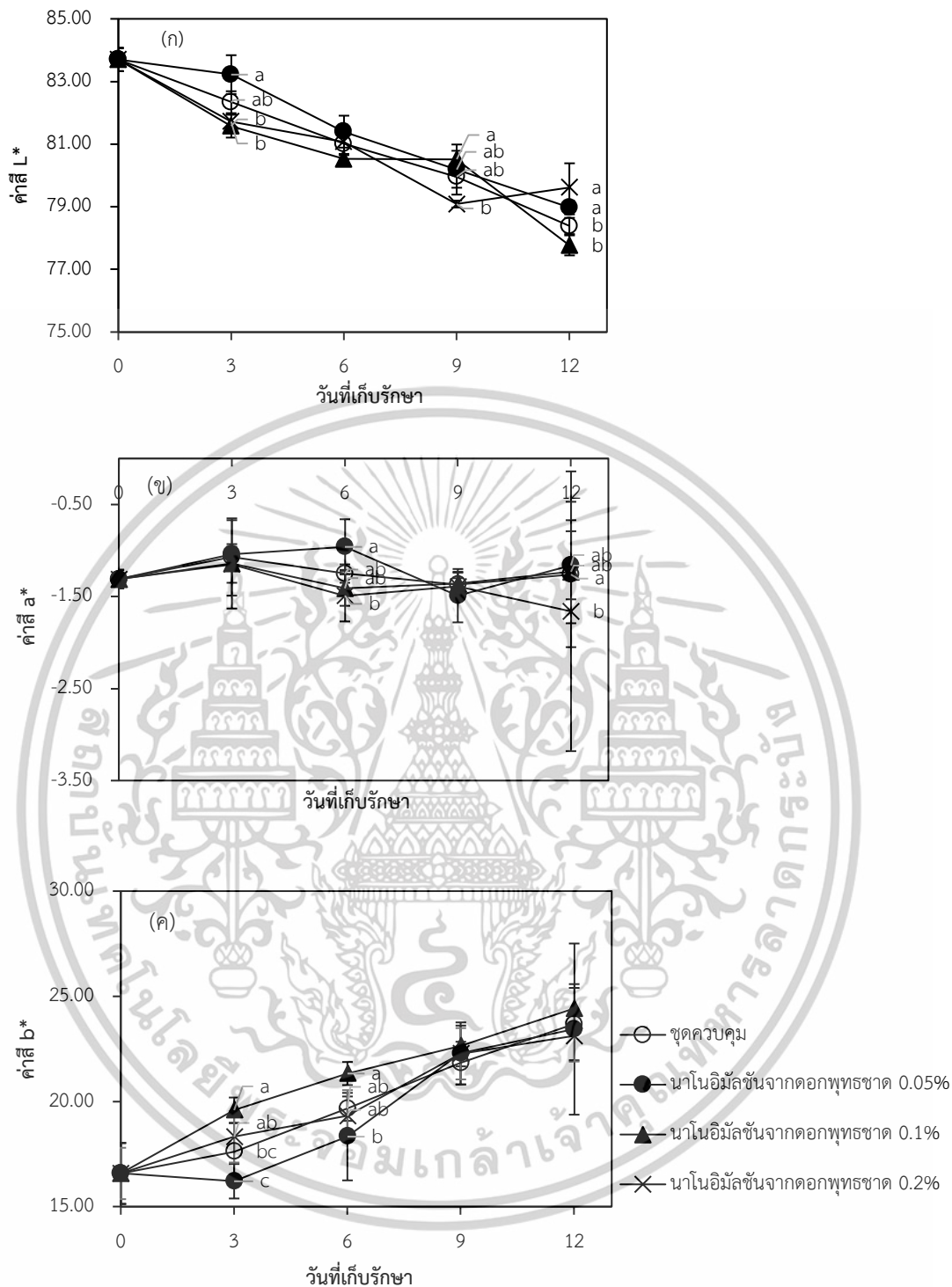
4.6.1 การสูญเสียน้ำหนักและปริมาณน้ำสัมพัทธ์

ดอกมะลิตามมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาดอกมะลิที่จุ่มในนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05% มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 6.14% แต่การสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 9 และ 12 ของทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ดอกมะลิชุดควบคุม และดอกมะลิที่จุ่มในนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 8.87, 9.18, 6.86 และ 5.63% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13 ก)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของดอกมะลิที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของดอกมะลิเริ่มต้นอยู่ที่ 76.55% และค่อย ๆ ลดลงจนถึงวันที่ 9 ดอกมะลิชุดควบคุม และดอกมะลิที่จุ่มในนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5% มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 73.10, 71.72, 71.83 และ 70.42% ตามลำดับ และทุกกรรมวิธีมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในวันที่ 12 โดยมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เท่ากับ 75.03, 76.33, 73.62 และ 74.50% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีตลอดการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 4.13 ข)

4.6.2 ค่าสีของกลีบดอก (L^* , a^* , b^*)

การเปลี่ยนแปลงสีกลีบดอกมะลิลาแสดงเป็นระบบค่าสี L^* , a^* และ b^* โดยค่า L^* แสดงค่าความสว่าง ค่า a^* แสดงช่วงสีเขียวถึงสีแดง และค่า b^* แสดงช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง ในการทดลองนี้ ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นแสดงถึงค่าความเข้มสว่างลดลง ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่า L^* ของกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง ความเข้มข้น 0.05 และ 0.2% สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.14 ก) ค่า a^* (ค่าความเขียว) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในวันที่ 6 และ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่า a^* ของกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง ความเข้มข้น 0.2% ต่ำกว่าชุดควบคุมและกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.14 ข) และค่า b^* (ค่าความเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่า b^* ของกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง ความเข้มข้น 0.05% ต่ำกว่าชุดควบคุมและกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.14 ค)



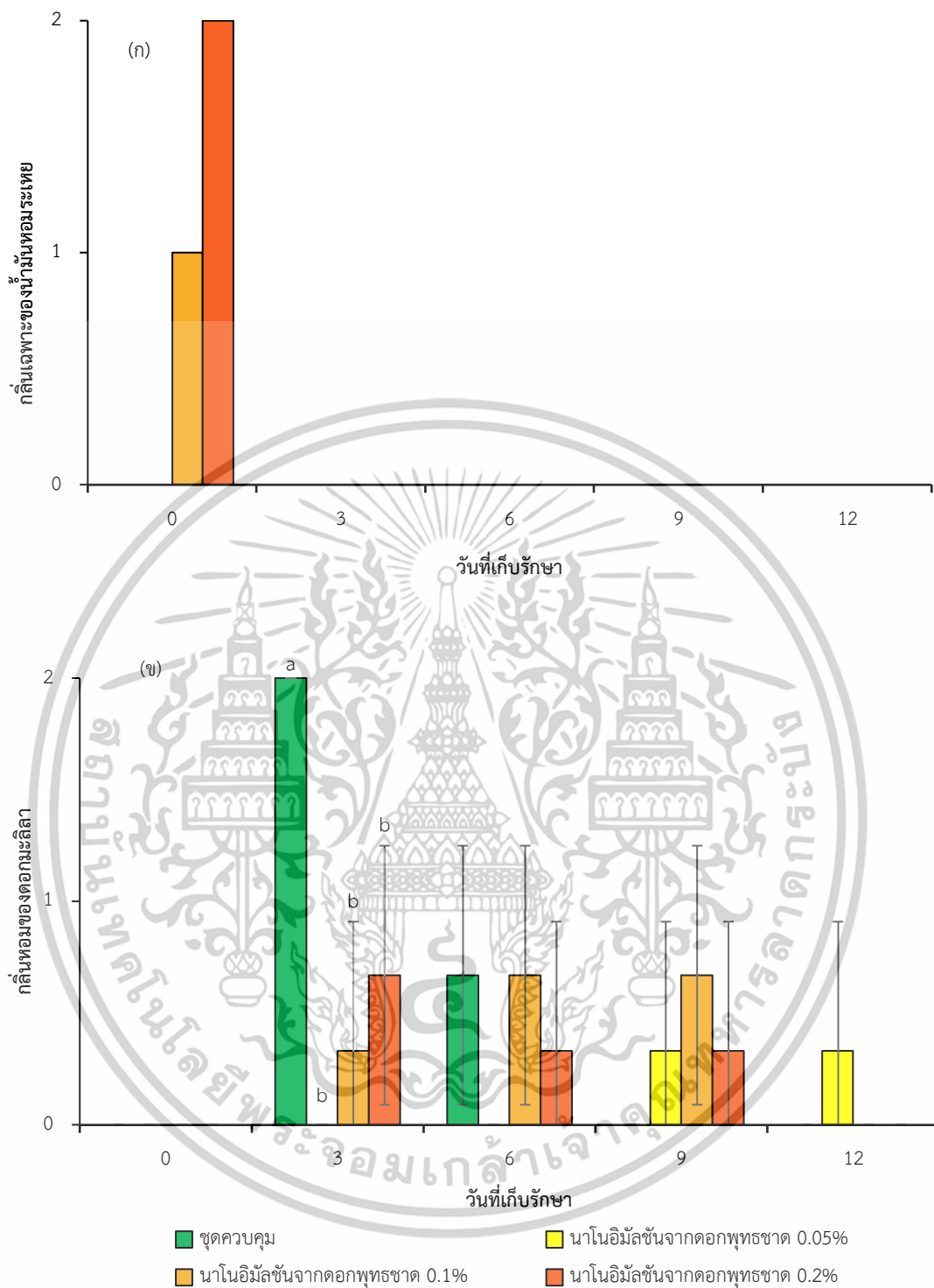
ภาพที่ 4.14 ค่าสี L* (ก), a* (ข) และ b* (ค) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การประเมินกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหยและกลิ่นหอมของดอกมะลิลา

การประเมินกลิ่นน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา (ภาพที่ 4.15 ก) พบว่า ในวันเริ่มต้นดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา ความเข้มข้น 0.2% มีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลาชัดเจน (2 คะแนน) และความเข้มข้น 0.1% มีกลิ่นปานกลาง (1 คะแนน) ส่วนชุดควบคุมและดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา ความเข้มข้น 0.05% ไม่มีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา (0 คะแนน) อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธีไม่พบกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา (0 คะแนน)

การประเมินกลิ่นหอมของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.15 ข) พบว่า ในวันเริ่มต้นทุกกรรมวิธีไม่มีกลิ่นหอมของดอกมะลิลา (0 คะแนน) ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมมีกลิ่นหอมของดอกมะลิลาชัดเจน (2 คะแนน) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลา และในวันที่ 6-12 ของการเก็บรักษา พบว่า ชุดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ติดกับดอกมะลิลาทุกความเข้มข้นมีกลิ่นหอมของดอกมะลิลาเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่น

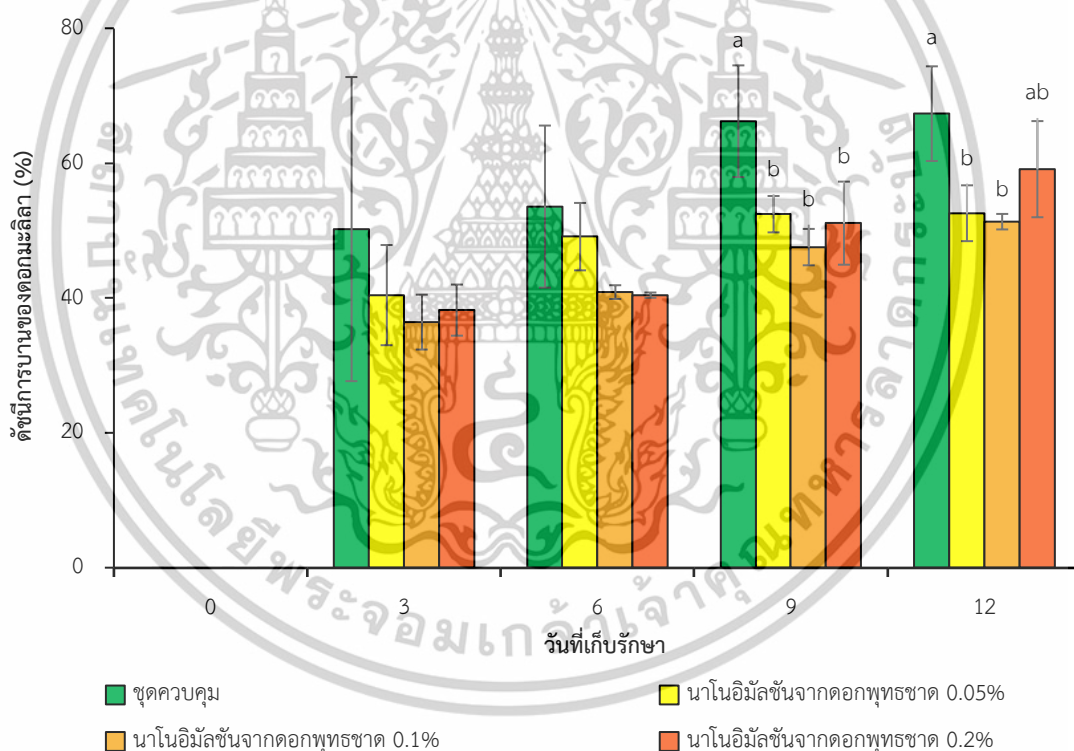


ภาพที่ 4.15 คะแนนการประเมินคุณภาพกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย (ก) และกลิ่นหอมของดอกมะลิลา (ข) ในดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้ำแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 ดัชนีการบานของดอกมะลิลา

การประเมินดัชนีการบานของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.16) พบว่า ชุดควบคุมมีดัชนีการบานมากกว่ากรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถาดแก้วทุกความเข้มข้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมมีดัชนีการบาน เท่ากับ 66.22% ซึ่งมากกว่าดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถาดแก้วทุกความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ชุดควบคุมมีดัชนีการบานของดอกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (67.34%) ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถาดแก้ว ความเข้มข้น 0.2% มีดัชนีการบาน เท่ากับ 59.11% แต่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถาดแก้วความเข้มข้น 0.05 และ 0.1% มีดัชนีการบาน เท่ากับ 52.58 และ 51.33% ตามลำดับ






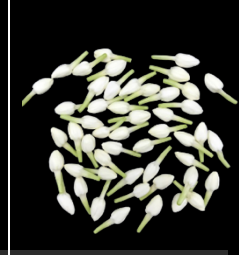


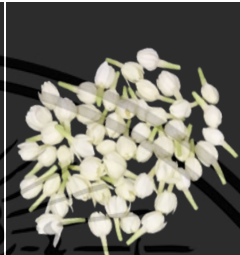













ภาพที่ 4.16 ดัชนีการบานของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถาดแก้ว ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 ดัชนีความสดของดอกมะลิลาและดัชนีความคงตัวของสี

การประเมินดัชนีความสดของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.17 ก) พบว่า ในวันเริ่มต้นและวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ชูดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษา ก้านแดงทุกความเข้มข้น มีดัชนีความสด 100% (ดอกตูมสีขาว) และในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ชูดควบคุมมีดัชนีความสด เท่ากับ 88.50% ต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชัน จากดอกพุทธรักษา ก้านแดงทุกความเข้มข้น ในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่จุ่ม ด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษา ก้านแดงทุกความเข้มข้น มีดัชนีความสดลดลงเล็กน้อยแต่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชูดควบคุมที่มีดัชนีความสด 61.17 (วันที่ 9) และ 47.33% (วันที่ 12) อย่างไรก็ตาม เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของดอกมะลิลาในวันที่ 12 พบว่า ดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษา ก้านแดง ความเข้มข้น 0.05% และชูด ควบคุม เสื่อมสภาพมากที่สุด เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ได้รับนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2% (ภาพที่ 4.18)

ประเมินดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลาระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.17 ข) พบว่า ในวันที่ 3 ถึงวันที่ 12 ดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันแสดงดัชนีความคงตัวของสีสูงกว่าชูดควบคุม หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 วัน ดัชนีความคงตัวของสีของดอกมะลิลาชูดควบคุม ลดลงเหลือ 87.56, 74.74, 50.07 และ 39.62% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าดัชนีความคงตัวของสีเฉลี่ย ที่ได้รับนาโนอิมัลชัน คือ 89.93, 81.95, 70.57 และ 53.14% ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของนาโน อิมัลชันที่สูงขึ้น (0.1 และ 0.2%) ส่งผลให้กลีบดอกมะลิลาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลช้ำลง ในขณะที่ดอก มะลิลาชูดควบคุมและนาโนอิมัลชันความเข้มข้น 0.05% แสดงให้เห็นว่ากลีบดอกเป็นสีน้ำตาลก่อน สิ้นสุดการเก็บรักษา

วันที่เก็บ รักษา	ความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง (%)			
	ชุดควบคุม	0.05	0.1	0.2
0				
3				
6				
9				
12				

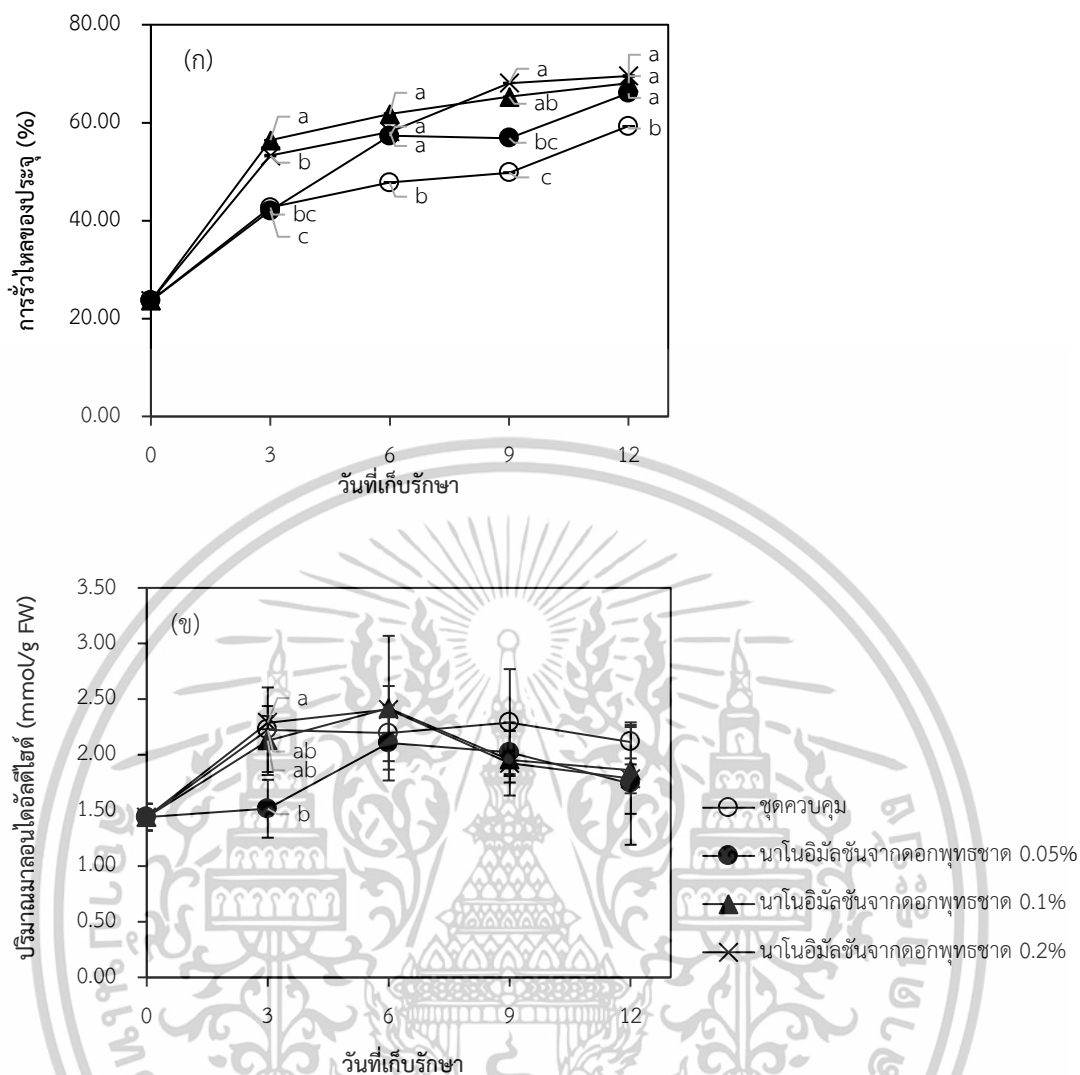
ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.6 การรั่วไหลของประจุและปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์

การรั่วไหลของประจุของกลีบดอก พบว่า ชุดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดงทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.05% มีค่าการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุดเท่ากับ 42.01% แตกต่างกับชุดควบคุมและกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมมีค่าการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุดเท่ากับ 47.79% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้นต่าง ๆ ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.2% มีค่าการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุดเท่ากับ 68.12% รองลงมาคือ กรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.1% มีค่าการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุด เท่ากับ 65.31% และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% มีค่าการรั่วไหลของประจุ เท่ากับ 66.03, 68.06 และ 69.53% ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมมีค่าการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุด เท่ากับ 59.30% (ภาพที่ 4.19 ก)

การเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ในดอกมะลิลา โดยการวัดปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ พบว่า ในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ เท่ากับ 1.44 mmol/g (Fw) และในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ดอกมะลิลาชุดควบคุม มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ เท่ากับ 2.23 mmol/g (Fw) ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2% แต่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต่างแดง ความเข้มข้น 0.05% มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.52 mmol/g (Fw) ส่วนในวันที่ 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.19 ข)



ภาพที่ 4.19 การร้วไหลของประจุ (ก) และปริมาณมาลอนไดอิลดีไฮด์ (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

4.6.7 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH*

นำดอกมะลิลาชุดควบคุมและดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน มาสกัดด้วยเอทานอลเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ และเจือจางให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 2% นำไปทดสอบกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH* ผลการศึกษาพบว่า ชุดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดงทุกความเข้มข้นมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทั่วไปชุดควบคุมมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH* ไกล่เคียงกับดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดง ยกเว้นชุดควบคุมมีประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูล DPPH* สูงกว่าดอกมะลิลาที่เอกลสารนี้เป็นเอกลสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกลสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.1% ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และที่ความเข้มข้น 0.05% ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการกำจัดอนุโมลอิสระ ด้วยวิธี DPPH* ของดอกมะลิลาที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2%

กรรมวิธี	ความสามารถในการกำจัดอนุโมลอิสระ (%)				
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12
ชุดควบคุม	94.37	93.33a	93.28	88.33	82.84a
นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.05%	94.37	91.11ab	92.70	86.46	77.63b
นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.1%	94.37	90.62b	93.63	87.68	78.68ab
นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.2%	94.37	92.48ab	93.72	87.35	81.86ab
F-test	ns	*	ns	ns	*

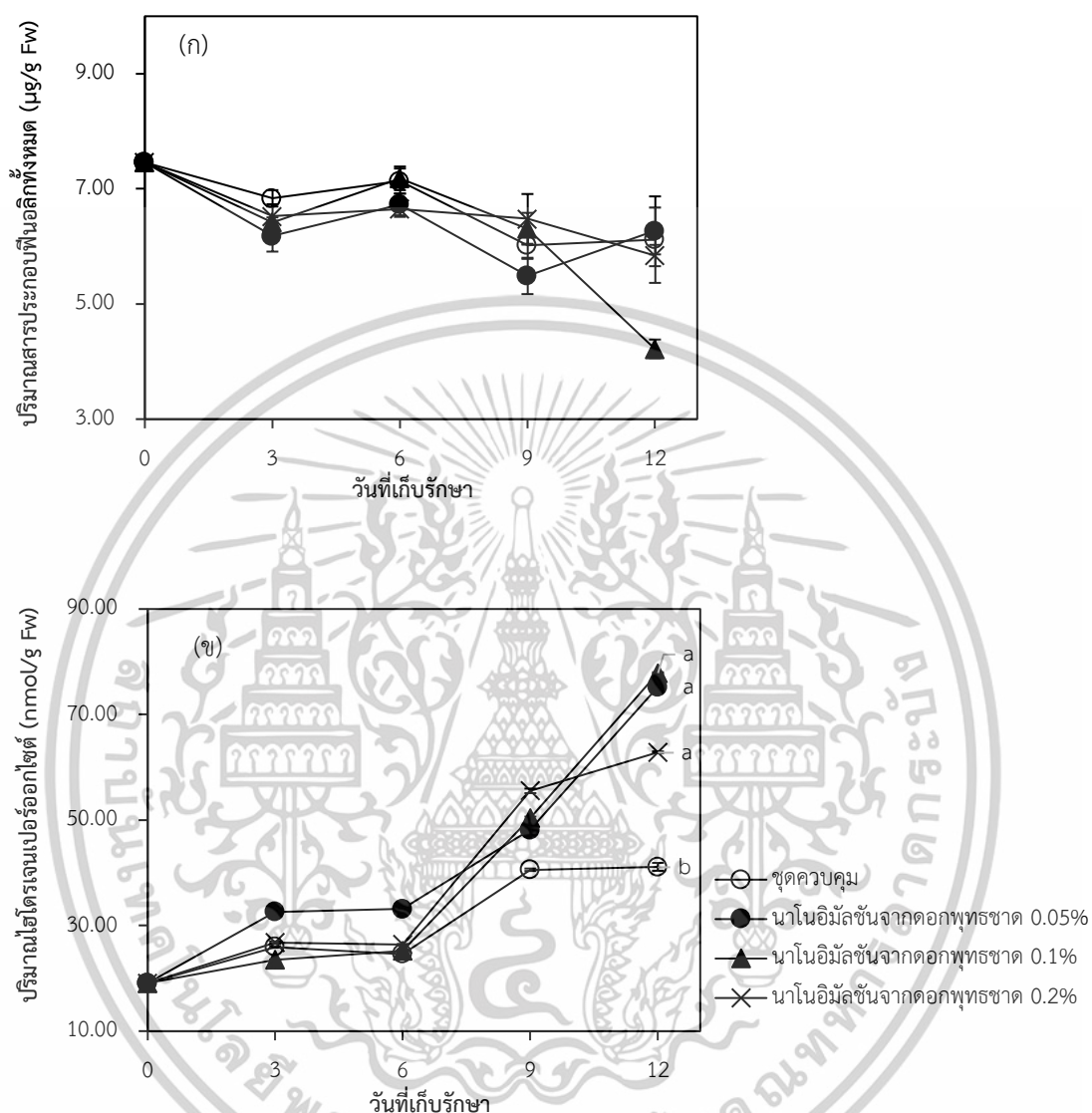
ค่าเฉลี่ย±SD ที่มีตัวอักษรกำกับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี Tukey test
 * = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

4.6.8 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นำดอกมะลิลาชุดควบคุมและดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% รักษาเป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน มาสกัดด้วยเอทานอลเพื่อเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ และเจือจางให้ได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 2% นำไปทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าในวันที่เริ่มต้นการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 7.46 µg/g (Fw) และหลังจากวันที่ 3 จนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยชุดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ระหว่าง 4.22-7.19 µg/g (Fw) อย่างไรก็ตาม ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.20 ก)

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พบในดอกมะลิลาที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า ในวันที่เริ่มต้นการเก็บรักษา ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 19.11 nmol/g Fw และในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 12 ชุดควบคุมมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด เท่ากับ 41.16 nmol/g Fw แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอก

พุทธชาดก้านแดงทุกความเข้มข้นที่มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่าง 62.85-77.86 nmol/g Fw (ภาพที่ 4.20 ข)



ภาพที่ 4.20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ก) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ข) ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธชาดก้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

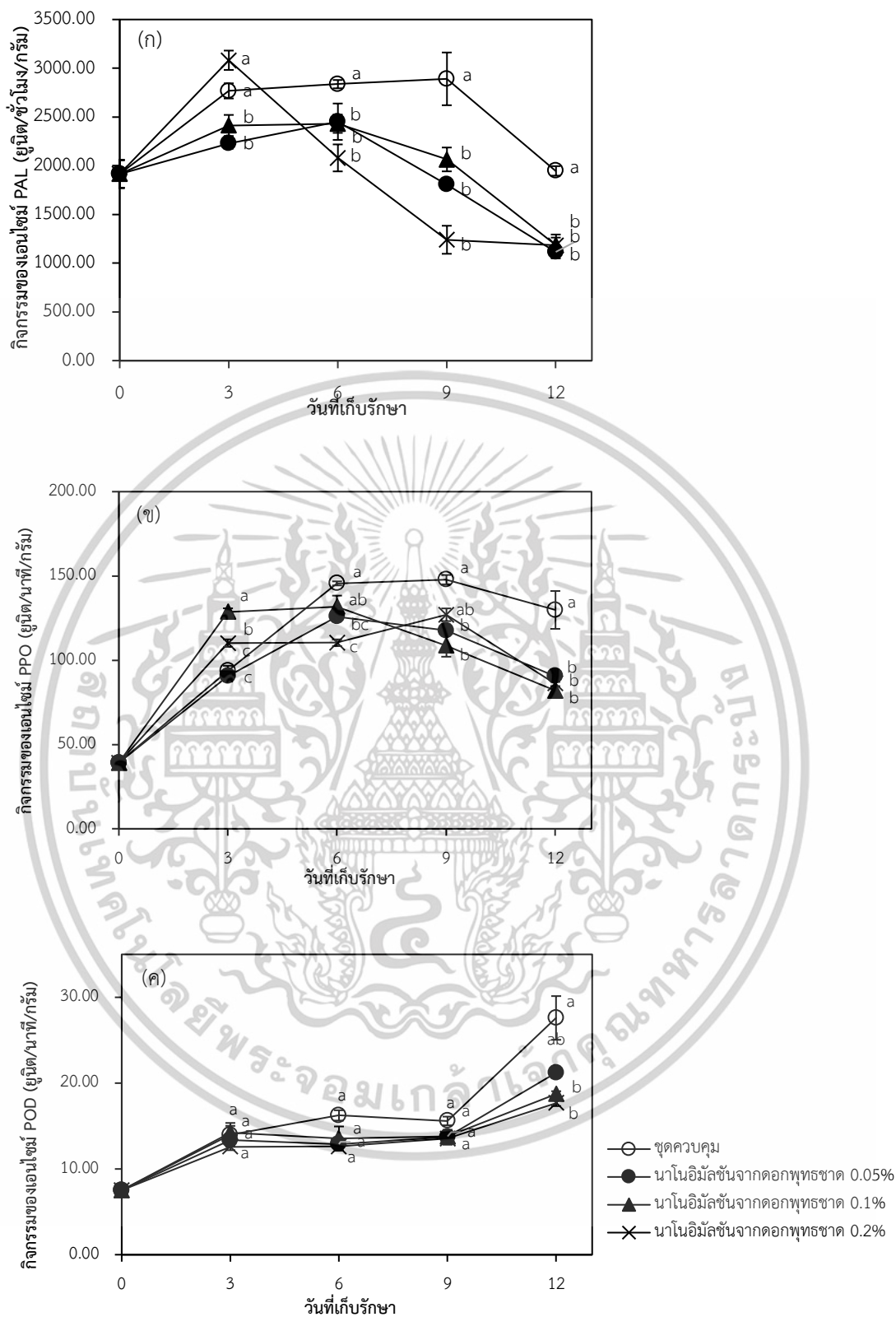
4.6.9 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD

ในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาดอกมะลิามีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เท่ากับ 1915.73 ยูนิต/ชั่วโมง/กรัม กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมและดอกมะลิที่จุ่มในนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.2% มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูงที่สุดเท่ากับ 2726.78 และ 3082.06 ยูนิต/ชั่วโมง/กรัม ตามลำดับ และในวันที่ 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่ากรรมวิธีที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.21 ก)

เมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ PPO พบว่า ในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาดอกมะลิามีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เท่ากับ 39.24 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นและลดลงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 3 กรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.1% มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงที่สุดเท่ากับ 128.77 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุมและกรรมวิธีที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดงความเข้มข้นอื่นๆ และในวันที่ 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษา ชุดควบคุม มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง (ภาพที่ 4.21 ข)

ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ POD พบว่า ในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาดอกมะลิามีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เท่ากับ 7.52 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม ในระหว่างวันที่ 3-9 ของการเก็บรักษา มะลิทุกกรรมวิธีมีกิจกรรม POD เพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่าง 12.59-16.24 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม และไม่แตกต่างกัน แต่ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาพบกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังพบว่า มะลิชุดควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เท่ากับ 27.59 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงที่สุด ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.05% มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เท่ากับ 21.20 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีจุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2% มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เท่ากับ 18.72 และ 17.67 ยูนิต/นาฬิกา/กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21 ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ของดอกมะลิลาที่จุ่มด้วยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาถ้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

ดอกมะลิลาที่เก็บเกี่ยวในระยะดอกตูมมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น กลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มหรือน้ำตาล และการเหี่ยวแห้งของดอกที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลาเพียง 1-2 วัน (พรรัชชล โพธิ์ขำ, 2544) ในการทดลองครั้งนี้จึงคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ กุหลาบ จำปา ดาวเรือง มะลิลา และพุทธรักษาที่มียังมีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลาหลังการเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิก พบว่า กรดแอสคอร์บิก 0.17% มีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO, POD ดีที่สุด กรดแอสคอร์บิกที่ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ยังไม่เข้าใจกลไกอย่างสมบูรณ์ แต่อาจเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาของ PAL (Arabia *et al.*, 2024) และยังพบว่ากรดแอสคอร์บิกมีบทบาทในการจับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็น co-factor ที่ POD ใช้เร่งปฏิกิริยา หากไม่มี H_2O_2 เอนไซม์ POD ก็ไม่สามารถทำงานได้ (Robinson and Eskin, 1992; Viña and Chaves, 2006) และกรดแอสคอร์บิกยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เนื่องจากทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO แบบแข่งขัน (competitive inhibitor) โดยจับกับบริเวณที่ทำงานของเอนไซม์และป้องกันไม่ให้สารตั้งต้นจับได้ (Nelson *et al.*, 2000) ในการศึกษาพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่มียังมีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลาได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้มีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายและมีปริมาณที่แตกต่างกัน จึงทำให้น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน จากรายงานของ Jirovetz *et al.* (2007) กล่าวว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่มียังมีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ในลูกพีช อาจเป็นไปได้ว่า benzyl acetate และ benzyl benzoate เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาที่มียังมีความสามารถในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD

เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือละลายน้ำได้ จึงต้องเตรียมน้ำมันหอมระเหยให้อยู่ในรูปอิมัลชัน กลไกการเกิดอิมัลชันเป็นการทำให้ของเหลวแตกตัวกระจายเป็นอนุภาคเล็กๆ ในตัวกลางที่เป็นน้ำหรือไขมัน เพื่อป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเหล่านี้ เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะการฉีดพ่น หรือใช้รับประทาน ก็ต้องมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD

หยาบเล็กๆ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลว 2 ชนิด โดยการเลือกชนิดตัวกระทำอิมัลชันและปริมาณที่ใช้จะมีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน (Weiss, 1999) การทำให้อิมัลชันคงตัวไม่ให้เกิดชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ โดยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ในการช่วยลดแรงตึงผิวของของเหลว ค่าศักย์ไฟฟ้า (zeta potential) คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างพื้นผิวนอนุภาคกับในชั้นสารละลาย โดยค่าศักย์ไฟฟ้าที่สามารถบอกค่าความเสถียรและสามารถทำนายความคงตัวของการกระจายตัวของอนุภาคได้ อนุภาคที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบมากจะเกิดการหักล้างต่อกันเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว แต่ถ้าอนุภาคมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบน้อยทำให้ไม่มีแรงป้องกันอนุภาคอื่นที่เข้ามา ดังนั้นจึงไม่เกิดเสถียรภาพการกระจายตัว (พิศิษฐ์ สิงห์ใจ, 2551) ผลการศึกษาการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดงร่วมกับสารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดงกับ Tween 80 : Span 85 ในอัตราส่วน 1:4 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 70.2 นาโนเมตร ค่าศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ -4.05 มิลลิโวลต์ มีลักษณะเป็นน้ำนมเนื้อเดียวกันมีความคงตัวและเสถียร (ภาพที่ 4.5) ขนาดอนุภาคในอิมัลชันทั่วไปมีขนาด 100 นาโนเมตร ถึง 1000 ไมโครเมตร ส่วนนาโนอิมัลชัน มีขนาดอนุภาค 10 ถึง 100 นาโนเมตร (Nikmaram *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2018) และอิมัลชันที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า -30 มิลลิโวลต์ สามารถควบคุมแรงผลักระหว่างอนุภาคได้ ทำให้อิมัลชันมีความเสถียร ไม่ตกตะกอนหรือเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน (Heurtault *et al.*, 2003) โดยกลไกการเกิดอิมัลชันได้เอง (spontaneous emulsification) เกิดจากสารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติชอบน้ำที่ผสมอยู่ในหยดน้ำมันแพร่เข้าสู่วัฏภาคน้ำด้วยความเร็วสูง เนื่องจากสารดังกล่าวชอบอยู่ในวัฏภาคน้ำมากกว่าในวัฏภาคน้ำมัน ทำให้เกิดการปั่นป่วนที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคน้ำมันและวัฏภาคน้ำ กลายเป็นนาโนอิมัลชันน้ำมันในน้ำในที่สุด ไม่ต้องลงทุนซื้อเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ในการผลิตนาโนอิมัลชันและประหยัดพลังงาน (Anton and Vandamme, 2009; McClements and Rao, 2011; Solans and Solé, 2012; Solans *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันกลไกการเกิดอิมัลชันได้เองยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในดอกมะลิลา ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาต้านแดง พบว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดง มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD อยู่ระหว่าง 23.87-25.71 ยูนิต/นาที/กรัม โดยนาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.125% ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาต้านแดง Fernandes *et al.* (2023) รายงานว่า นาโนอิมัลชันจากน้ำมันหอมระเหยของ *Schinus terebinthifolia* Raddi สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในเมล็ดของ *Urochloa brizantha* และ *Lactuca sativa* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลการยับยั้งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของนาโนอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระในดอกมะลิลา ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง เนื่องจากอนุมูลอิสระมีอิเล็คตรอนคู่โดดเดี่ยวเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรจึงมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง (Sen *et al.*, 2010) อนุมูลอิสระเกิดขึ้นตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อพืชในระหว่างกระบวนการเผาผลาญของเซลล์และความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน การสัมผัสกับรังสี UV และการบาดเจ็บทางกล อนุมูลอิสระก่อให้เกิดความเครียดจากการออกซิเดชันและความเสียหายของเซลล์ ส่งผลให้เม็ดสี สารแต่งกลิ่น และไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ในผลไม้และผักเสื่อมสภาพ (Eramma *et al.*, 2025) วิธีการที่ใช้ในการประเมินกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับวิธีการกำจัดอนุมูลเปอร์ออกไซด์ เช่น การทดสอบ DPPH*, metal chelate และ FRAP (Siddeeg *et al.*, 2021) การศึกษานี้พบว่า นาโนอิมัลชัน ความเข้มข้น 0.25% มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH* มีความสามารถในการแย่งจับกับไอออนโลหะ สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ แต่มีความสามารถในการรีดักชันต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Balasubramani *et al.* (2017) รายงานว่า ค่า IC₅₀ ของกิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* ของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากคนทีเขมา (*Vitex negundo* L.) สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ เช่นเดียวกับงานของ Lou *et al.* (2017) รายงานว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากส้มโอมี (*Citrus medica* L.) และ น้ำมันหอมระเหยจากส้มโอมีบริสุทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH* 72.4% และ 44.3% ตามลำดับ ขณะที่ Galovičová *et al.* (2022) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงมี acetate (37%), benzyl benzoate (34.7%), linalool (9.6%), (Z)-jasnone (5%), isophytol (3.3%) และ eugenol (2.1%) เป็นองค์ประกอบ มีฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH* เช่นเดียวกับ Ramadan (2022) กล่าวว่า นาโนอิมัลชันเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของสารออกฤทธิ์ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น linalool, phenols กระจายตัวได้ดีขึ้น โดยนาโนอิมัลชันที่มีกลุ่มไฮดรอกซิลจากยูจินอลทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ DPPH* อย่างรุนแรงและจับไอออน Fe²⁺ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนาโนอิมัลชันที่มีองค์ประกอบของ *p*-anisaldehyde และ benzyl benzoate ช่วยเพิ่มการเข้าถึงอนุมูลอิสระ แต่ความสามารถในการถ่ายโอนรีดอกซ์ลดลง สาเหตุน่าจะมาจากโครงสร้างขนาดเล็กและการเคลื่อนที่ที่จำกัดของโมเลกุลต้านอนุมูลอิสระเมื่อห่อหุ้ม (encapsulation) ทำให้ความสามารถในการให้อิเล็คตรอนของโมเลกุลเหล่านี้ถูกจำกัดในการทดสอบ FRAP (Soussi *et al.*, 2023) การทำในรูปอิมัลชันช่วยเพิ่มการละลายของสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงจากเดิมที่ละลายได้น้อย Turek and Stintzing (2013) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงประกอบด้วยสารออกฤทธิ์กลุ่มเทอร์พีนอยด์และสารประกอบอะโรมาติกซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และมีการละลายในน้ำต่ำโดยธรรมชาติ ลักษณะดังกล่าวก่อให้เกิดข้อจำกัดด้านการกระจายตัวในสื่อกลางน้ำและประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ระบบเซลล์พืชหรือเนื้อเยื่อพืช การทำให้น้ำมันหอมระเหยให้อยู่ในรูปของนาโนอิมัลชันเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการละลายของสารสำคัญในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำ นาโนอิมัลชันมีลักษณะเป็นระบบสองเฟสที่ล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของหยดน้ำมันต่อสื่อกลางน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ (Hunde *et al.*, 2023) ส่งผลให้การละลายของสารออกฤทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ขนาดอนุภาคนาโนยังช่วยส่งเสริมการดูดซึมของสารออกฤทธิ์เข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ดีขึ้นและเพิ่มการกระจายตัวของน้ำมันในระบบชีวภาพ นอกจากนี้ นาโนอิมัลชันยังมีความเสถียรสูงกว่าระบบน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ โดยสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพจากปัจจัยภายนอก เช่น ออกซิเจน แสง และความร้อน (Salvia-Trujillo *et al.*, 2015a) ทำให้สามารถรักษาความคงตัวของสารออกฤทธิ์และยืดอายุการออกฤทธิ์ได้ยาวนานยิ่งขึ้น

จากการทดลองนำดอกมะลิมาจุ่มด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาตาก้านแดง ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.2% พบว่า ดอกมะลิมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่านาโนอิมัลชันไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ เนื่องจากดอกมะลิจัดเป็น climacteric flower และยังคงมีกิจกรรมเมแทบอลิซึมโดยเฉพาะการหายใจอย่างต่อเนื่อง หลังเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานจากน้ำตาลสะสมและการปล่อย CO₂ ซึ่งสัมพันธ์กับการเสื่อมคุณภาพและการสูญเสียน้ำหนัก (Ruchitha *et al.*, 2023) ขณะที่ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของดอกมะลิที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาตาก้านแดงลดลงเพียงเล็กน้อย Zambrano-Zaragoza *et al.* (2018) กล่าวว่า การเคลือบด้วยนาโนอิมัลชันมีผลโดยตรงต่อการสร้างฟิล์มกึ่งซึมผ่านได้ (semi-permeable coating) ซึ่งสามารถลดการคายน้ำออกจากผิวดอกไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Choudhury *et al.* (2019) ดอกมะลิที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก PE สามารถรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2–3 วัน โดยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในการทดลองนี้เก็บรักษาดอกมะลิในถุงพลาสติก Polypropylene (PP) ซึ่งถุง PP ช่วยสร้างสภาวะกึ่งปิดทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์สูงขึ้นส่งผลให้ชะลอการคายน้ำ Thakur *et al.* (2020) รายงานว่า การบรรจุดอกมะลิในถุง PP ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7-8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 80-85% มีส่วนช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำในระดับเซลล์ ทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของดอกมะลิลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงการเก็บรักษา โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 8 วัน ในการทดลองนี้ค่า L* ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสว่าง มีแนวโน้มลดลง แต่ค่าความเขียว (a*) และความเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ali *et al.* (2023) รายงานว่า ในระหว่างการเก็บรักษาดอกมะลิ (*Jasminum multiflorum*) ค่าสี L* ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสว่าง มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าความแดง (a*) และความเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมสภาพของโครงสร้างเซลล์ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลที่นำไปสู่การสร้างเม็ดสีน้ำตาลในกลีบดอก ในการทดลองนี้พบว่าใน 3 วันแรกของการเก็บรักษา ดอกมะลิลาชุดควบคุมมีกลิ่นหอมชัดเจน แต่เมื่อเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีกลิ่นหอมของดอกมะลิลาเล็กน้อยหรือไม่มีกลิ่นและดอกมะลิลาที่จุ่มนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาตามแผนเมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นดอกมะลิลาไม่มีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหย วชิรญาและพรทิพย์ (2562) รายงานว่า ดอกมะลิลาในระยะดอกเริ่มผลิและดอกแย้ม มีกลิ่นหอมสูงสุดภายในเวลา 6 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นดอกมะลิลาทั้งสองระยะจะบานเต็มที่ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดย Yu *et al.* (2017) รายงานว่า ในช่วงต่าง ๆ ของการบาน พบว่าการปล่อยสารหอมระเหย เช่น α -farnesene, linalool และ benzyl acetate มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการบานของดอก โดยสารหอมระเหยจะถูกปล่อยมากที่สุดในช่วงที่ดอกเริ่มบานและจะลดลงเมื่อดอกบานเต็มที่หรือเริ่มโรย และการที่ชุดควบคุมมีกลิ่นหอมชัดเจน แต่ดอกมะลิลาที่จุ่มนาโนอิมัลชันไม่มีกลิ่น อาจเป็นเพราะสารลดแรงตึงผิวละลายน้ำมันหอมระเหยในดอกมะลิลา จึงทำให้ดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันมีกลิ่นน้อยลง หรืออาจเนื่องจากนาโนอิมัลชันไปเคลือบและสร้างฟิล์มบางบนผิวกลีบดอก ซึ่งอาจปิดกั้นรู stomata และขัดขวางการระเหยของสารหอมระเหยออกจากดอกไม้ เช่นเดียวกับงานของ Miranda *et al.* (2022) รายงานว่า การเคลือบผลไม้ด้วยอิมัลชันของแว็กซ์คาร์นูบา พบว่า นาโนอิมัลชันสามารถแทรกซึมเข้าไปอุดรู stomata ของมะละกอได้ จักรพันธ์ จุลศรีไกรวัล (2550) กล่าวว่า ในน้ำมันหอมระเหยมะลิมี Benzyl acetate เป็นองค์ประกอบหลัก และสารประกอบไนโตรเจนมีส่วนทำให้น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นเฉพาะตัว เช่น indole และสารประกอบพวก anthranilates ที่พบในน้ำมันหอมระเหยมะลิ โดยในทางอุตสาหกรรมจะใช้สารประกอบไนโตรเจน เพื่อปรับปรุงกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยมะลิ และสารประกอบอะโรมาติกความเข้มข้นสูง โดยเฉพาะ benzyl alcohol และ linalool อนุพันธ์ของสารประกอบเหล่านี้ แสดงให้เห็นว่า น้ำมันหอมระเหยชนิดนี้มีกลิ่นดอกไม้และผลไม้ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกลิ่นมะลิ (Upadhyay and Holbrook, 2004; Issa *et al.*, 2020) แต่ Thamarai selvi *et al.* (2009) รายงานว่า *Jasminum grandiflorum*, *J. sambac* และ *Polianthus tuberosa* ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน เก็บรักษาในห้องเย็นที่มีอากาศถ่ายเทจะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์หลังจากหมดอายุการใช้งานของดอกไม้เหล่านั้น และดัชนีความคงตัวของสีของกลีบดอกมะลิลา พบว่า ดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันแสดงดัชนีความคงตัวของสีสูงกว่าชุดควบคุม โดยความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันที่สูงขึ้น (0.1 และ 0.2%) ทำให้กลีบดอกมะลิลาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขาลง และพบว่าดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันมีดัชนีความสดลดลงเพียงเล็กน้อย Pandey *et al.* (2022) รายงานว่า นาโนอิมัลชันมีคุณสมบัติกระจายตัวของน้ำมันหอมระเหยได้ดี ส่งผลให้สารออกฤทธิ์สามารถคงสภาพสีและความสดของผลไม้ได้นานขึ้น เอทิลีนมีบทบาทสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของดอก โดยความไวต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทิลีนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของดอกไม้ (Redman *et al.*, 2002) เอทิลีนทำให้ดอกมะลิลา ระยะดอกตูมมีอายุสั้น ส่งผลให้กลีบดอกเหี่ยวเฉาอย่างรวดเร็ว (Borochoy *et al.*, 1997) และการเหี่ยวแห้งของดอกที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลานั้น ๆ เพียง 1-2 วัน เนื่องจากกลีบดอกมีการสร้างเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งการเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก (ศรีสังวาล, 2537) Faragher and Mayak (1984) รายงานว่า การผลิตเอทิลีนปริมาณสูงในดอกไม้ ทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เกิดการบานอย่างรวดเร็วและเร่งการเสื่อมสภาพของดอกให้เกิดขึ้น ในการศึกษาค้นคว้าพบว่า ดอกมะลิลาที่ไม่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงมีดัชนีการบานสูงสุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ali *et al.* (2024) พบว่า ดอกมะลิที่ไม่ได้รับสารเคมี (ชุดควบคุม) มีค่าดัชนีการบานสูงสุดตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ชุดควบคุมมีค่าดัชนีการบานสูงสุด เนื่องจากขาดการป้องกันที่ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำและปฏิกิริยาทางสรีรวิทยาที่เร่งให้กลีบดอกเปิดเร็วขึ้น ส่งผลให้ดอกเสื่อมคุณภาพเร็ว

ในงานทดลองนี้พบการรั่วไหลของประจุของกลีบดอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แต่ชุดควบคุมมีการรั่วไหลของประจุต่ำกว่าดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงทุกความเข้มข้น อาจเนื่องจากน้ำมันหอมระเหยทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีการซึมผ่านดีขึ้นและทำให้มีการรั่วไหลของสารละลายจากเซลล์เพิ่มมากขึ้น (Singh *et al.*, 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thakur *et al.* (2023) การใช้อิมัลชันจากน้ำมันหอมระเหยตะไคร้กับดอกกลาดิโอลัส พบว่า ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ระหว่างการเก็บรักษา ค่าการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage) ของกลีบดอกมะลิลา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงมีการรั่วไหลของสารที่มีประจุสูงกว่าชุดควบคุม อาจเป็นผลมาจากสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดง ทำให้เกิดความเสียหายของเยื่อเมมเบรน สอดคล้องกับงานของ Laosinwattana *et al.* (2018) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยของ *Tagetes erecta* L. ทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การซึมผ่านเพิ่มขึ้นและการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น หรือสารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติในการละลายคราบไขมัน Ghosh *et al.* (2013) กล่าวว่า Tween80 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB เท่ากับ 15 เหมาะกับใช้เป็นสารล้างทำความสะอาด (detergent) จึงทำให้ละลาย wax ที่เคลือบกลีบดอก และอาจส่งผลต่อการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงใช้ในความเข้มข้นระดับต่ำจึงส่งผลต่อความเสียหายของเมมเบรนไม่รุนแรง และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดอกมะลิลา Ahuja *et al.* (2014) รายงานว่า การผลิตอนุมูล ROS มากเกินไปอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเครียดออกซิเดชัน (Singh *et al.* 2006) เมื่อศึกษาการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH* ในดอกมะลิลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้รับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงและชุดควบคุมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่า การใช้ น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH* ในการทดลองนี้ ดอกมะลิลาชุดควบคุมและนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา อาจอธิบายได้จากสารประกอบฟีนอลิกได้ถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สีน้ำตาลในดอกมะลิลาในระหว่างการเก็บรักษา

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นโมเลกุลสำคัญที่ผลิตจากการเผาผลาญอาหาร การหายใจระดับเซลล์ และสะสมในเซลล์พืช เป็นสารที่ถูกผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาของระบบป้องกันภายในเซลล์เมื่อพืชได้รับความเครียด เช่น การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือเคมีจากภายนอก (Cocetta and Ferrante, 2018) ผลของ H_2O_2 ต่อพืชขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น กรณี H_2O_2 ความเข้มข้นสูงสามารถทำให้เกิดความเครียดออกซิเดชันในเนื้อเยื่อพืชได้โดยตรง แต่ที่ระดับต่ำสามารถนำไปสู่การกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยาเชิงบวกและอาจช่วยทนต่อความเครียดที่เกิดจาก ROS ในพืชได้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ในกลีบดอกมะลิลา พบว่า มะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดงสะสม H_2O_2 สูงกว่าชุดควบคุม อาจเป็นไปได้ว่า ระดับของ H_2O_2 ที่สะสมเป็นระดับต่ำในดอกมะลิลาเป็นระดับที่ไม่เป็นพิษต่อพืชและอาจเกิดผลดีต่อคุณภาพของดอกมะลิลา (Hossain *et al.*, 2005; Liao *et al.*, 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liao *et al.* (2012) H_2O_2 ความเข้มข้นต่ำในสารละลายช่วยยืดอายุการปักแจกันของลิลลี่ตัดดอก 'Manissa' ในขณะที่การให้ปริมาณ H_2O_2 ที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้อายุการปักแจกันลดลง ความเครียดในเซลล์ส่งผลกระตุ้นการทำงานของ PAL ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก รวมทั้ง PPO และ POD ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถใช้สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Zhou *et al.*, 2003; Nukuntornprakit *et al.*, 2015) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ดอกมะลิลาชุดควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD สูงที่สุดเมื่อเทียบกับดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาแดง และพบว่าเอนไซม์ PAL และ PPO เป็นเอนไซม์หลักที่ควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2017) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและยูจินอลยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ในผักกาดหอมได้ดีกว่าชุดควบคุม เช่นเดียวกับ Xu *et al.* (2020) รายงานว่า น้ำแอปเปิลที่ได้รับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยอบเชยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และน้ำมันหอมระเหยไทม์ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลำไยอย่างมีนัยสำคัญ โดยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ได้ดีกว่าในชุดควบคุม (Khan *et al.*, 2021) Laosinwattana *et al.* (2025) รายงานว่า นาโนอิมัลชันจากน้ำมันหอมระเหยที่เตรียมด้วยวิธีอัลตราโซนิคมีขนาดอนุภาคเล็ก (10-100 นาโนเมตร) ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและการดูดซึมของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารออกฤทธิ์ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับ *Salvia-Trujillo et al. (2015b)* รายงานว่า นาโนอิมัลชันจากน้ำมันหอมระเหยมีความเสถียรสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ โดยสามารถรักษาความคงตัวของสารออกฤทธิ์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ ยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ ทำให้การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและนานขึ้น *Cvanic et al. (2023)* พบว่า น้ำมันหอมระเหยจาก *Oregano* และ *Thyme* มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ POD สูงกว่านาโนอิมัลชัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ *Ru et al. (2022)* รายงานว่า แคนตาลูปตัดแต่งที่ได้รับนาโนอิมัลชันของใบกระวานมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (POD) อาจเป็นผลมาจากกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของใบกระวาน (*Ramos et al., 2011*) การใช้นาโนอิมัลชันใบกระวานจึงช่วยต้านอนุมูลอิสระของแคนตาลูปตัดแต่งได้ POD เป็นเอนไซม์กำจัดพิษออกซิเรดิคัลที่สำคัญซึ่งเร่งปฏิกิริยามากกว่าหนึ่งปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นหลายชนิด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล รสชาติผิดปกติ และการย่อยสลายทางโภชนาการ (*Alikhani-Koupaei et al., 2014*) กิจกรรมที่ลดลงของ POD ในดอกไม้ที่ได้รับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาแดงจึงส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพลดลง น้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูง สามารถลดการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็น co-factor ที่ POD ใช้เร่งปฏิกิริยา หากไม่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ POD ก็ไม่สามารถทำงานได้ (*Robinson and Eskin, 1992; Nicolas et al., 1994*)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ศักยภาพของน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ในการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล

จากการทดสอบน้ำมันหอมระเหยจากดอกไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ดอกกุหลาบ ดาวเรือง พุด พุทราชาติ ก้านแดง และมะลิลา พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทราชาติ ก้านแดงมีศักยภาพสูงที่สุดในการยับยั้งเอนไซม์ POD ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดสีน้ำตาลในดอกไม้ โดยสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้มากถึง 44.21% อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยทุกชนิดไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ PAL และ PPO ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก 0.17% ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PAL, PPO และ POD สูงสุด

6.2 คัดเลือกสูตรในการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทราชาติ ก้านแดง ในรูปอิมัลชันที่มีความเสถียร

จากการทดลองคัดเลือกสูตรน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทราชาติ ก้านแดง ในรูปอิมัลชัน โดยเตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก (Tween 80) ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (Span 20, Span 80 และ Span 85) พบว่า สูตรที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween 80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span 85 (อัตราส่วน 4:1) มีความเสถียรสูงสุด ลักษณะทางกายภาพเป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 70.2 ± 0.39 นาโนเมตร และมีค่าดัชนีการกระจายตัวของอนุภาค เท่ากับ 0.191 ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอและความเสถียรของอนุภาคในระบบนาโนอิมัลชัน

6.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ POD ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทราชาติ ก้านแดง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ POD ระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทราชาติ ก้านแดง พบว่า นาโนอิมัลชันมีแนวโน้มในการยับยั้งเอนไซม์ POD ได้ดีกว่า โดยเฉพาะนาโนอิมัลชันความเข้มข้น 0.125% สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้ถึง 65.48% แสดงให้เห็นว่า นาโนอิมัลชันช่วยยับยั้งเอนไซม์ POD ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์

6.4 การเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระระหว่างน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง

จากการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH^{*}, การแย่งจับกับไอออนโลหะ (metal chelating activity) และการรีดักชัน (FRAP) พบว่า นาโนอิมัลชันมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ขณะที่ความสามารถในการรีดักชันของนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดงมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์

6.5 ผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของดอกมะลิลา

เมื่อนำนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงไปประยุกต์ใช้กับดอกมะลิลา โดยแช่ดอกในนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง ความเข้มข้น 0.05%, 0.1% และ 0.2% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดงทุกความเข้มข้น สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของกลีบดอกได้ดีกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง ความเข้มข้น 0.1% ให้ผลดีที่สุดในแง่ของการคงคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าดัชนีความสด ดัชนีความคงตัวของสี ดัชนีการบานของดอก และการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PAL, PPO และ POD ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ ยังพบว่า ดอกมะลิลาที่ได้รับนาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง ความเข้มข้น 0.1% ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นตกค้างของน้ำมันหอมระเหย

6.6 สรุปภาพรวมของการทดลอง

ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากดอกพุทธรักษาگانแดงมีศักยภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิลา ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเอนไซม์ POD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง สูตร Tween 80 ร่วมกับ Span 85 (อัตราส่วน 4:1) เป็นสูตรที่มีความเสถียรสูงสุด และสามารถนำไปใช้กับดอกมะลิลาในระดับชีวภาพได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการใช้นาโนอิมัลชันจากดอกพุทธรักษาگانแดง ความเข้มข้น 0.1% มีประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาคุณภาพของดอกมะลิลา ทั้งในด้านการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องและการชะลอความเสื่อมสภาพ ทั้งนี้ ผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารธรรมชาติสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาดอกมะลิลาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาสูตรอิมัลชันโดยลดอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวให้น้อยลง และเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย เพื่อคงกลิ่นหอมตามธรรมชาติของดอกมะลิ และเลี่ยงปัญหากลิ่นรบกวนจากสารลดแรงตึงผิว ทั้งนี้ยังมีโอกาสในการพัฒนาสูตรต่อไปให้เป็นนาโนอิมัลชันที่มีความเสถียรสูง สามารถคงตัวได้นานและเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กชกร ทองมาก, ธารรัตน์ จันทรพัฒน์, รติมา จันแดง, วิทวัส หมาดอี และกุสุมาลย์ น้อยผา. 2564. สารพฤกษเคมีเบื้องต้นและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มพื้กัดเกสรทั้งห้า. **วารสารหมอยาไทยวิชัย**. 7: 61-74.
- กรมวิชาการเกษตร. **มะลิลา**. 2561. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2021/01/malila-020261.pdf>.
- ข้อมูลพันธุ์ไม้. **มะลิลา *Jasminum sambac* (L.) Aiton**. 2564. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://data.addrun.org/plant/archives/175-jasminum-sambac-l-aiton>.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช**. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 468.
- จักรพันธ์ จุลศรีไคว้ล. 2550. **องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพจากน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เภสัชกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จิราพร บุญประเสริฐ, พิระศักดิ์ ฉายประสาธ และมยุรี กระจายกลาง. 2561. ผลของกรดบอริกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของดอกมะลิหลังการเก็บเกี่ยว. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 49(4): 111-114.
- ช.ณัฐศิริ สุขสุวรรณ. 2538. **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวไม้ตัดดอกไม้ตัดใบ**. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัญญา ทิพานุกะ. 2554. **“มะลิ” ไม้ดอกมหัศจรรย์**. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตรกรรมส่งเสริมการเกษตร.
- โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. 2547. สารสกัดจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุตหนุนวิจัย มก. โครงการวิจัย 3**. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฐาปณีย์ หงส์รัตนารกิจ. 2550. **น้ำมันหอมระเหยและการใช้สุคนธ์บำบัด**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วิฑูรย์การปก. 240.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธัญญภัทร์ ศรีวิจารณ์, เบ็ญจวรรณ ชูติชูเดช และประสิทธิ์ ชูติชูเดช. 2560. ผลของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 36(3): 341-347.

ธีระวัฒน์ วงศ์วิชิต. 2561. มะลิ (ไม้เด็ดดอก). กรมส่งเสริมการเกษตร. 79-80.

นิธิยา รัตนापนนท และदनัย บุญเกียรติ. 2556. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวดอกไม้. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์จำกัด. 250.

พรรัชชล โพธิ์ขำ. 2544. การปรับปรุงวิธีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวกับมะลิส่งออก (*Jasmine Sambac*): ช่วงเวลาที่เหมาะสมหลังการเก็บเกี่ยว, ชนิดถุงพลาสติกและวิธีการบรรจุเพื่อการลดอุณหภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 60.

พิศิษฐ์ สิงห์ใจ. 2551. การวัดขนาดอนุภาคระดับนาโนโดยใช้เครื่อง DLS และ Zeta Potential Sizer. วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2: 148-153.

มยุรี กระจายกลาง. 2555. การใช้ 1-MCP เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายพวงมาลัยดอกมะลิสด. วารสารเกษตร. 28(1): 11-18.

วชิรญา อิมสบาย และพรทิพย์ ตรงชื่น. 2562. ผลของระยะความบริสุทธิ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและการบานของดอกมะลิลา. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 3(2): 7-12.

วรรณิ อุไพบุรณ์. 2547. การเลือกใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 52(164): 38-40.

ศันสนีย์ กาบบัว และธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2551. ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อการเกิดสีน้ำตาลและกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลลำไยพันธุ์ต่อหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารเกษตร. 24(1): 43-50.

ศรีสังวาลย์ ลายวิเศษกุล. 2537. สรีรวิทยาของดอกมะลิหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง. มะลิลา. 2567. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/new-fragrant/jasminumsam.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุชาติดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ. 2558. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุนไพรในตำรับยาหอมเทพจิตร. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*. 15(1): 106-117.

สุชาติพิทย์ อินทรกำธรชัย, นฤนันท์ วุฒิสินธุ์ และภาณุพงษ์ ใจวุฒิ. 2556. การพัฒนาครีมชะลอวัยผสมสารสกัดดอกมะลิลา. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง*.

สุพิชญ์พงศ์ ภูหวล, กาญจนา กุลวิฑิต, ปิยะพงษ์ บุญสุวรรค์, กิรติกร อุทธยาวงศ์ และชนิดา เยรัมย์. 2557. การชะลอการเกิดสีน้ำตาลของดอกพุดตม (*Tabernaemontana pandacqui* Lam) ด้วยสารแคลเซียมคลอไรด์ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. *การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 10*. 239.

สุวิมล อริยประกาย. 2560. การผลิตนาโนอิมัลชันโดยวิธีที่ง่ายและประหยัดพลังงาน. *วารสารอาหารและวิทยาศาสตร์ชีวภาพประยุกต์*. 5(3): 155-164.

สำนักงานเกษตรอำเภอเขาคิชฌกูฏ. *ความสำคัญทางเศรษฐกิจของดอกมะลิ*. 2565. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก www.khaokhitchakut.chanthaburi.doae.go.th.

อนงนาฏ ไพนุพงศ์. 2560. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ. *วารสารวิชาการชาชนันท์เทคโนโลยีราชภัฏภูเก็ต*. 1(2): 20-27.

อัมพวรรณ สันนชัย และนิรมล สันติภาพวิวัฒนา. 2551. การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อยืดอายุการปักแจกันของดอกหน้าวัว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 39(3): 235-238.

เอกพงษ์ หนูพลับ. 2551. *คู่มือนักวิชาการเกษตร มะลิ*. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและจัดการการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.

ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ. 2565. การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยสารสกัดรำข้าวหอมมะลิสุรินทร์ (กข 15) ในผลมะเขือยาวสไลด์สด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*. 8(1): 41-55.

Abdoul-Latif, F., Edou, P., Eba, F., Mohamed, N., Ali, A., Djama, S., Obame, L.C., Bassolé, I. and Dicko, M. 2010. Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and methanol extract of *Jasminum sambac* from Djibouti. *African Journal of Plant Science*. 4(3): 38-43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ahuja, N., Batish, D.R., Singh, H.P. and Kohli, R.K. 2014. Herbicidal activity of eugenol towards some grassy and broad-leaved weeds. **Journal of Pest Science**. 88: 209-218.
- Ak, G., Zengin, G., Ceylan, R., Mahomoodally, M.F., Jugreet, S., Mollica, A. and Stefanucci, A. 2021. Chemical composition and biological activities of essential oils from *Calendula officinalis* L. flowers and leaves. **Flavour and Fragrance Journal**. 36(5): 554-563.
- Ali, S.M., Nidoni, U., Palanimuthu, Hiregoudar, S., Ramappa K.T., Ramesh, G. and Naik, N. 2024. Enhancing shelf life and freshness retention in jasmine flowers (*Jasminum multiflorum* L.) through post-harvest chemical treatments. **International Journal of Advanced Biochemistry Research**. 8(3): 265-270.
- Alikhani-Koupaei, M., Mazlumzadeh, M., Sharifani, M. and Adibian, M. 2014. Enhancing stability of essential oils by microencapsulation for preservation of button mushroom during postharvest. **Food Science and Nutrition**. 2(5): 526-533.
- Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E.A., Ávila-Reyes, J.A., Uribe-Soto, J.N., and González-Valdez, L.S. 2013. The Phenols of the Genus *Agave* (Agavaceae). **Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology**. 4(3): 9-16.
- Anton, N. and Vandamme, T.F. 2009. The universality of low-energy nano-emulsification. **International Journal of Pharmaceutics**. 377(1-2): 142-147.
- Anwara, H.F., Shah, H.M.S., Waheedc, A., Butt, M.A., Qasime, H.Z. and Bari, A. 2021. Effect of oxalic acid on vase life and antioxidative activities of 'Mero Star' cut lily flowers. **Journal of Horticultural Science and Technology**. 4(2): 56-61.
- Aquino-Bolanos, E.N. and Mercado-Silva, E. 2004. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics, and lignin content on the browning of cut jicama. **Postharvest Biology and Technology**. 33(3): 275-283.
- Ara, N. and Nur, H. 2009. *In vitro* antioxidant activity of methanolic leaves and flowers extracts of *Lippia alba*. **Research Journal of Medicine and Medical Sciences**. 4(1): 107-110.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Arabia, A., Munné-Bosch, S. and Muñoz, P. 2024. Ascorbic acid as a master redox regulator of fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**. 207: 112614.
- Baidya, B.K., Chakrabarty, S. and Sethy, P. 2020. Extending shelf life of loose tuberose florets (*Polianthes Tuberosa* Linn. cv. Prajwal) by quick dipping in boric Acid and sodium benzoate followed by low temperature Storage. **International Journal of Chemical Studies**. 8(3): 2607-2612.
- Balasubramani, S., Rajendhiran, T., Moola, A.K. and Diana, R.K.B. 2017. Development of nanoemulsion from *Vitex negundo* L. essential oil and their efficacy of antioxidant, antimicrobial and larvicidal activities (*Aedes aegypti* L.). **Environmental Science and Pollution Research**. 24: 15125-15133.
- Borochoy, A., Spiegelstein, H. and Hadas, P. 1997. Ethylene and flower petal senescence interrelationship with membrane lipid metabolism. **Physiologia Plantarum**. 100(3): 606-612.
- Bustos, M.C., Mazzobre, M.F. and Buera, M.P. 2015. Stabilization of refrigerated avocado pulp: Effect of Allium and Brassica extracts on enzymatic browning. **Food Science and Technology**. 61(1): 89-97.
- Camm, E.L. and Tower, G.H.N. 1973. Phenylalanine ammonia lyase. **Phytochemistry**. 12(5): 961-973.
- Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I. and Espa, N.J.C. 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 3015-3023.
- Chakrabarty, D., Verma, A.K. and Datta, S.K. 2009. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in *Heimerocallis* (day lily) flowers. **Journal of Horticulture and Forestry**. 1(6): 113-119.
- Chaisakdanugull, C., Theerakulkait, C. and Wrolstad, R.E. 2007. Pineapple juice and its fractions in enzymatic browning inhibition of banana [Musa (AAA group) Gros Michel]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55(10): 4252-4257.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chang, Y., McLandsborough, L. and McClements, D.J. 2013. Physicochemical properties and antimicrobial efficacy of carvacrol nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 61(37): 8906–8913.
- Chen, X., Ren, L., Li, M., Qian, J., Fan, J. and Du, B. 2017. Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. **Food Chemistry**. 214: 432-439.
- Choudhury, S., Das, J.N., Mohanty, C.R., Das, A.K. and Mishra, B.K. 2019. Packaging Technology for Extending shelf life of jasmine (*Jasminum sambac* CV. Gundumalli) flowers. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 8(9): 1724-1732.
- Cocetta, G. and Ferrante, A. 2018. Postharvest application of hydrogen peroxide and salicylic acid differently affects the quality and vase life of cut rose (*Rosa hybrida* L.) petals and leaves. **Advances in Horticultural Science**. 32(3): 371-378.
- Cvanić, T., Šovljanski, O., Popović, S., Erceg, T., Vulić, J., Čanadanović-Brunet, J., Četković, G. and Travičić, V. 2023. Progress in fruit and vegetable preservation: plant-based nanoemulsion coatings and their evolving trends. **Coatings**. 13: 1835.
- Davidov-Pardo, G. and McClements, D.J. 2015. Nutraceutical delivery systems: Resveratrol encapsulation in grape seed oil nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. **Food Chemistry**. 167: 205-212.
- Dashtbany, S., Hashemabadi, D. and Sedaghat hoor, S. 2015. Study on interaction effects of mechanical and geranium essential oil treatments on vase life of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.). **Journal of Ornamental Plants**. 5(2): 97-103.

- Degl'Innocenti, E., Guidi, L., Pardossi, A. and Tognoni, F. 2005. Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. Acephala). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53(26): 9980-9984.
- Del Rio, L.A. 2015. ROS and RNS in plant physiology: An overview. **Journal of Experimental Botany**. 66(10): 2827-2837.
- Dinis, T. C .P., V.M.C. Madeira and L. M. Almeida 1994. Action of phenolic derivatives(acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers. **Archives of Biochemistry and Biophysic**. 315: 161-169.
- Ebrahimzadeh, M.A., S.M. Nabavi, S.F. Nabavi and B. Eslami. 2010. Antioxidant activity of bulb and aerial parts of *Ornithogalum sintenisii* L (Liliaceae) at Flowering Stage. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**. 9(2): 141-148.
- Eissa, H.A., Fadel, H.H.M., Ibrahim, G.E., Hassan, I.M. and Elrashid, A.A. 2006. Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. **Food Research International**. 39(8): 855-863
- Eramma, N., Sadashiv, S.O., Ningegowda, R., Jyothi, S.R. and Patil, S.J. 2025. Nutraceutical Potential of Selected Vegetables. **In Plant Metabolites and Vegetables as Nutraceuticals**. 33-58.
- Esra, K. 2012. Phenylalanine ammonia lyase activity in stem of pepper (*Capsicum annuum* L.) infected by *Phytophthora capsici* L. **Gazi University Journal of Science**. 25(2): 307-31.
- Faragher, J.D. and Mayak, S. 1984. Physiological responses of cut rose flowers to exposure to low temperature: Changes in membrane permeability and ethylene production. **Journal of Experimental Botany**. 35: 965-974.
- Fernandes, S.Y., Araújo, D., Pontes, M.S., Santos, J.S., Cardoso, C.A.L., Simionatto, E., Martines, M.A.U., Antunes, D.R., Grillo, R., Arruda, G.J. and Santiago E.F. 2023. Pre-emergent bioherbicide potential of *Schinus terebinthifolia* Raddi essential oil nanoemulsion for *Urochloa brizantha*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. 43: 102598.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Galovičová, L., Čmiková, N., Vukovic, N., Vukic, M., Kowalczewski, P.L., Bakay, L. and Kačániová, M. 2022. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial, antibiofilm and anti-Insect activities of *Jasminum grandiflorum* essential oil. **Horticulturae**. 8(10): 953.
- Ghosh, V., Mukherjee, A. and Chandrasekaran, N. 2013. Ultrasonic emulsification of food-grade nanoemulsion formulation and evaluation of its bactericidal activity. **Ultrasonics Sonochemistry**. 20: 338-344.
- Girija, C.K., Nair, S.A. and Srinivas, M. 2015. Effect of precooling and chemical preservatives on post harvest longevity of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) florets. **International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology**. 8(1): 65-68.
- Gómez-Lobato, M.E., Hasperué, J.H., Civello, P.M., Chaves, A.R. and Martínez, G.A. 2012. Effect of 1-MCP on the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). **Scientia Horticulturae**. 144: 208-211.
- Gonçalves, A., Nikmaram, N., Roohinejad, S., Estevinho, B.N., Rocha, F., Greiner, R. and McClements, D.J. 2018. Production, properties, and applications of solid self-emulsifying delivery systems (S-SEDS) in the food and pharmaceutical industries. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 538: 108-126.
- Grotheer, P., Vallés, S., Simonne, A., Kim, J. and Marshall, M.R. 2012. Polyphenol oxidase inhibitor(s) from german cockroach (*Blattella Germanica*) extract. **Journal of Food Biochemistry**. 36(3): 292-300.
- Guttloff, M., Saberi, A.H. and McClements, D.J. 2015. Formation of vitamin D nanoemulsion- based delivery systems by spontaneous emulsification: Factors affecting particle size and stability. **Food Chemistry**. 171: 117-122.
- He, Q. and Luo, Y. 2007. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. **Stewart Postharvest Review**. 6(3): 1-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Heath, L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**. 125(1): 189–198.
- Hemachandran, H., Anantharaman, A., Mohan, S., Mohan, G., Kumar, D.T., Dey, D., Kumar, D., Dey, P., Choudhury, A., Doss, C.G.P. and Ramamoorthy, S. 2017. Unraveling the inhibition mechanism of cyanidin-3-sophoroside on polyphenol oxidase and its effect on enzymatic browning of apples. **Food Chemistry**. 227: 102-110.
- Heurtault, B., Saulnier, P., Pech, B., Proust, J.E. and Benoit, J.P. 2003. Physicochemical stability of colloidal lipid particles. **Biomaterials**. 24(23): 4283–4300.
- Hossain, M.A., Bhattacharjee, S., Armin, S.M., Qian, P., Xin, W., Li, H.Y., Burritt, D.J., Fujita, M. and Tran, L.S.P. 2005. Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: Insights from ROS detoxification and scavenging. **Frontiers in Plant Science**. 6: 420.
- Hsouna, A.B., Hamdi, N., Halima, N.B. and Abdelkafi, S. 2013. Characterization of essential oil from *Citrus aurantium* L. flowers: Antimicrobial and antioxidant activities. **Journal of Oleo Science**. 62(10): 763-772.
- Hunde, Y., Bachheti, A., Chaubey, K.K., Husen, A. and Bachheti, R.K. 2023. **Current Trends in Green Nano-emulsions**. Springer. Singapore. 311.
- Issa, M.Y., Mohsen, E., Younis, I.Y., Nofal, E.S. and Farag, M.A. 2020. Volatiles distribution in jasmine flowers taxa grown in Egypt and its commercial products as analyzed via solid-phase microextraction (SPME) coupled to chemometrics. **Industrial Crops and Products**. 144: 112002.
- Jebur, A.B., Mokhamer, M.H. and El-Demerdash, F.M. 2016. A Review on oxidative stress and role of antioxidants in diabetes mellitus. **Austin Endocrinology and Diabetes Case**. 1(1): 1-6.
- Jiang, Y., Duan, X., Qu, H. and Zheng, S. 2016. Browning: enzymatic browning. **Encyclopedia of Food and Health**. 508-514.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jirovetz, L., Buchbauer, G., Schweiger, T., Denkova, Z., Slavchev, A., Stoyanova, A., Stoyanova, A., Schmidt, E. and Geissler, M. 2007. Chemical composition, olfactory evaluation and antimicrobial activities of *Jasminum grandiflorum* L. absolute from India. **Natural Product Communications**. 2(4): 407-412.
- Khan, M.R., Huang, C., Zhao, H., Huang, H., Ren, L., Faiq, M., Hashmi, M.S., Li, B., Zheng, D., Xu, Y., Su, H. and An, J. 2021. Antioxidant activity of thymol essential oil and inhibition of polyphenol oxidase enzyme: a case study on the enzymatic browning of harvested longan fruit. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**. 8(61): 1-10.
- Komaiko, J., and McClements, D.J. 2015. Low-energy formation of edible nanoemulsions by spontaneous emulsification: Factors influencing particle size. **Journal of Food Engineering**. 146: 122-128.
- Kong, J.Q. 2015. Phenylalanine ammonia-lyase, a key component used for phenylpropanoid production by metabolic engineering. **Royal Society of Chemistry**. 5: 62587-62603.
- Krush, G.H., and Rastegar, S. 2022. γ -Aminobutyric Acid (GABA) Inhibits the enzymatic browning of cut *Narcissus tazetta* cv. 'Shahla-e-Shiraz' flowers during vase life. **Journal of Plant Growth Regulation**. 42: 2602-2612.
- Kumar, S., Kumar, D. and Prakash, O.m. 2008. Evaluation of antioxidant potential, phenolic and flavonoid contents of *Hibiscus tiliaceus* flowers. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**. 7(4): 2863-2871.
- Kumar, S. 2014. The importance of antioxidant and their role in pharmaceutical science-a review. **Asian Journal of Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences**. 1(1): 27-44.
- Kumaresan, S. 2023. Influence of packaging and storage temperature on the shelf life of jasmine (*Ramanathapuram Gundumalli* cv.) flowers. **The Pharma Innovation Journal**. 12(1): 1181-1186.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Laosinwattana, C., Wichittrakarn, P. and Teerark, M. 2018. Chemical composition and herbicidal action of essential oil from *Tagetes erecta* L. leaves. **Industrial Crops and Products**. 126: 129-134.
- Laosinwattana, C., Somala, N., Dimak, J., Teerark, M. and Chotsaeng, N. 2025. Ultrasonic emulsification of *Cananga odorata* nanoemulsion formulation for enhancement of herbicidal potential. **Scientific Reports**. 15(1): 3263.
- Lee, S.Y., Baek, N. and Nam, T.g. 2016. Natural, semisynthetic and synthetic tyrosinase inhibitors. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**. 31(1): 1-13.
- Liao, W.B., Zhang, M.L., Huang, G.B. and Yu, J.H. 2012. Hydrogen peroxide in the vase solution increases vase life and keeping quality of cut Oriental × Trumpet hybrid lily ‘Manissa’. **Scientia Horticulturae**. 139: 32-38.
- Lou, Z., Chen, J., Yu, F., Wang, H., Kou, X., Ma, C., Zhu, S. 2017. The antioxidant, antibacterial, antibiofilm activity of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* and its nanoemulsion. **LWT - Food Science and Technology**. 80: 371-377.
- Macheix, J.J., Fleuriot, A. and Billot, J. 1990. **Fruit phenolics**. CRC Press. Boca Raton. 378.
- Macrae, A. and Duggleby, R. 1968. Substrates and inhibitors of potato tuber phenolase. **Phytochemistry**. 7(5): 855-861.
- Marappan, K., Khanchana, K. and Arumugam, V.A. 2024. Extending the Shelf Life and Quality of Jasmine (*Jasminum sambac*) Through Different Chemical Treatments. **Research Journal of Agricultural Sciences**. 15(3): 656-660.
- Martinez, M. V. and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science and Technology**. 6: 195-200.
- Mayer, A.M. and Harel, E. 1979. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochemistry**. 18(2): 193-215.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- McClements, D.J. and Rao, J. 2011. Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 51(4): 285–330.
- Miranda, M., Sun, X., Marín, A. dos Santos. L.C., Plotto, A., Bai, J., Assis, O.B.G., Ferreira, M.D. and Baldwin, E. 2022. Nano- and micro-sized carnauba wax emulsions-based coatings incorporated with ginger essential oil and hydroxypropyl methylcellulose on papaya: Preservation of quality and delay of post-harvest fruit decay. **Food Chemistry**. 13: 100249.
- Mizobutsi, G.P., Finger, F.L., Ribeiro, R.A., Puschmann, R., Neves, L.L.M. and Mota, W.F. 2010. Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenol oxidase activities of litchi pericarp. **Scientia Agricola**. 67: 213-217.
- Mohanasundari, P., Sivakumar, T., Surendar, K.K. and Ganga, M. 2018. Prolonging the shelf life of jasmine (*Jasminum grandiflorum*) buds by chemical treatments under cold storage condition. **Journal of Agriculture and Ecology**. 6(6): 85-93.
- Moon, K. M., Kwon, E.B., Lee, B. and Kim, C.Y. 2020. Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. **Molecules**. 25(12): 2754.
- Moussa, M.M., Mazrou, R.M. and Hassan, F.A.S. 2024. How sage and rosemary essential oils regulate postharvest senescence and extend the vase life of cut gladiolus spikes. **Horticulturae**. 10(6): 638.
- Murata, M., Tsurutani, M., Tomita, M., Homma, S. and Kaneko, K. 1995. Relationship between apple ripening and browning: Changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. **Journal Agriculture Food Chemistry**. 43(5): 1116-1121.
- Murata, M., Nishimura, M., Murai, N., Haruta, M., Homma, S. and Itoh, Y. 2001. A transgenic apple callus showing reduced polyphenol oxidase activity and low browning potential. **Bioscience Biotechnology Biochemistry**. 65: 383-388.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Muttiah, N.N., Lim, V. and Saidin, A. 2019. Chemical composition and synergistic repellent activity of *Jasminum officinale* and *Anthemis nobilis* essential oils against *Aedes aegypti* mosquitoes. **Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences**. 15(9): 30-36.
- Nelson, D.L. and Cox, M.M. 2000. **Lehninger Principles of Biochemistry**. New York. USA. 1255.
- Nicolas, J.J., Richard-Forget, F.C., Goupy, P.M., Amiot, M.J. and Aubert, S.Y. 1994. Enzymatic browning reactions in apple and products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 34(2): 109-157.
- Nikmaram, N., Roohinejad, S., Hashemi, S., Koubaa, M., Barba, F.J., Abbaspour-Ead, A. and Greiner, R. 2017. Emulsion-based systems for fabrication of electrospun nanofibers: food, pharmaceutical and biomedical applications. **Royal Society of Chemistry**. 7(46): 28951-28964.
- Nirmala, S. and Reddy, T.V. 1993. Shelf-life of jasmine (*Jasminum sambac*) flowers as influenced by packaging and ventilation. **Mysore Journal of Agricultural Sciences**. 27(3): 272-276.
- Nukuntornprakit, O., Chanjirakul, K., van Doorn, W.G. and Siriphanich, J. 2015. Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism. **Postharvest Biology and Technology**. 99: 20-26.
- Pandey, V.K., Islam, R.U., Shams, R. and Dar, A.H. 2022. A comprehensive review on the application of essential oils as bioactive compounds in nano-emulsion based edible coatings of fruits and vegetables. **Applied Food Research**. 2(1): 100042.
- Piao, M.J., Yoo, E.S., Koh, Y.S., Kang, H.K., Kim, J., Kim, Y.J., Kang, H.H. and Hyun, J.W. 2011. Antioxidant effects of the ethanol extract from flower of *Camellia japonica* via scavenging of reactive oxygen species and induction of antioxidant enzymes. **International Journal of Molecular Sciences**. 12(4): 2618–2630.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ponce, A., Valle, C. and Roura, S. 2004. Shelf life of leafy vegetables Treated with natural essential oils. **Journal of Food Science**. 69: 50-56.
- Ponce, A.G., Roura, S.I., Valle, C.E. and Moreira, M.R., 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *in vitro* and *in vivo* studies. **Postharvest Biology and Technology**. 49: 294-300.
- Qiu, L., Chen, Q.H., Zhuang, J.X., Zhong, X., Zhou, J.J., Guo, Y.J. and Chen, Q.X. 2009. Inhibitory effects of α -cyano-4-hydroxycinnamic acid on the activity of mushroom tyrosinase. **Food Chemistry**. 112(3): 609-613.
- Radi, M., Mahrouz, M., Jaouad, A., Tacchini, M., Aubert, S., Hugues, M. and Amiot, M.J. 1997. Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. **HortScience**. 32(6): 1087-1091.
- Radulescu, C., Buruleanu, L.C., Georgescu, A.A. and Dulama, I.D. 2019. Correlation between enzymatic and non-enzymatic antioxidants in several edible mushrooms species. **Food Engineering**. 1-31.
- Ramadan, M.F. 2022. **Clove (*Syzygium aromaticum*)**. Academic Press. 363-403.
- Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Matos, O., Serrano, C., Neng, N.R., Nogueira, J.M.F., Nunes, M.L. and Marques, A. 2011. Antioxidant and antibacterial activity of essential oil and extracts of bay laurel *Laurus nobilis* Linnaeus (Lauraceae) from Portugal. **Natural Product Research**. 26(6): 518-529.
- Redman B.P., Dole, J.M., Maness, N.O. and Anderson, J.A. 2002. Post harvest handling of nine speciality cut flower species. **Scientia Horticulturae**. 92: 293-303.
- Robinson, D.S. and Eskin, N.A.M. 1992. **Oxidative Enzymes in Foods**. Elsevier Applied Science. London. 314.
- Robles-Sánchez, R.M., Rojas-Graü, M.A., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. and Martín-Belloso, O. 2013. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. **Food Science and Technology**. 50(1): 240-246.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ru, Q., Hu, Q., Dai, C., Zhang, X. and Wang, Y. 2022. Formulation of *Laurus nobilis* essential oil nanoemulsion system and its application in fresh-cut muskmelons. **Coatings**. 12(2): 159.

Ruchitha, P., Kumar, A.P., Reddy, M.S., Syed, A. and Prakash, U.S. 2023. **Trends in Horticulture**. New Delhi. AkiNik Publications. 339.

Saberi, A.H., Fang, Y. and McClements, D.J. 2013a. Fabrication of vitamin E-enriched nanoemulsions: Factors affecting particle size using spontaneous emulsification. **Journal of Colloid and Interface Science**. 391: 95-102.

Saberi, A.H., Fang, Y. and McClements, D.J. 2016b. Influence of surfactant type and thermal cycling on formation and stability of flavor oil emulsions fabricated by spontaneous emulsification. **Food Research International**. 89: 296-301.

Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2015a. Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. **Food Hydrocolloids**. 43: 547-556.

Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. 2015b. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. **Postharvest Biology and Technology**. 105: 8-16.

Sen, S., Chakraborty, R., Sridhar, C., Reddy, Y.S.R. and De, B. 2010. Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines: Current status and future prospect. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**. 3(1). 91-100.

Siddeeg A., AlKehayez N.M., Abu-Hiamed H.A., Al-Sanea E.A. and Al-Farga A.M. 2021. Mode of action and determination of antioxidant activity in the dietary sources: An overview. **Saudi Journal of Biological Sciences**. 28(3): 1633-1644.

Singh, H.P., Batish, D.R., Kaur, S., Arora, K. and Kohli, R.K. 2006. α -pinene inhibits growth and induces oxidative stress in roots. **Annals of Botany**. 98: 1261-1269.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นชอบหรือรับรองโดยหน่วยงานการวิจัย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Singh, H.P., Kaur, S., Mittal, S., Batish, D.R. and Kohli, R.K. 2009. Essential oil of *Artemisia scoparia* inhibit plant growth by generating reactive oxygen species and causing oxidative damage. **Journal of Chemical Ecology**. 35(2): 154-162.
- Solans, C. and Solé, I. 2012. Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**. 17(5): 246-254.
- Solans, C., Morales, D. and Homs, M. 2016. Spontaneous emulsification. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**. 22: 88-93.
- Soussi, M., Yaagoubi, W.E., Nekhla, H., Hanafi, L.E., Squalli, W., Benjelloun, M. and Ghadraoui, L.E. 2023. A multidimensional review of *pimpinella anisum* and recommendation for future research to face adverse climatic conditions. **Chemistry Africa**. 6: 1727-1746.
- Stanojevic, L.P., Marjanovic-Balaban, Z.R., Kalaba, V.D., Stanojevic, J.S. and Cvetkovic, D.J. 2016. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of chamomile flowers essential oil (*Matricaria chamomilla* L.). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**. 19(8): 2017-2028.
- Suntipabvivattana, N. and Tongdeesuntorn, W. 2017. Shelf-life extending of jasmine garland. **Acta Horticulturae**. 1167: 419-424.
- Thakur, N. 2020. A review on the effect of storage methods and packaging material on the post-harvest longevity of cut flowers. **International Journal of Chemical Studies**. 8(3): 2375-2379.
- Thakur, M., Verma, V., Chandel, A., Kumar, R., Sharma, T., Kumar, A., Bhardwaj, S., Kumar, R. and Bhargava, B. 2023. Lemon grass essential oil improves *Gladiolus grandiflorus* postharvest life by modulating water relations, microbial growth, biochemical activity, and gene expression. **Scientific Reports**. 13: 2630.
- Thamarai selvi, S.P. and Jawaharlal, M. 2009. **Standardization of export technology for packaging technology for jasmine and tuberose**. Ph.D. Thesis of University of Tamilnadu Agricultural University.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tinello, F., D., Mihaylova and A., Lante. 2018. Effect of dipping pre-treatment with unripe grape juice on dried “Golden Delicious” apple slices. **Food and Bioprocess Technology**. 11(12): 2275-2285.
- Tovar, C.D.G., Delgado-Ospina, J., Porras, D.P.N., Peralta-Ruiz, Y., Cordero, A.P., Castro, J.I., Valencia, M.N.C., Mina, J.H. and López., C.C. 2019. *Colletotrichum gloesporioides* inhibition in situ by chitosan-ruta graveolens essential oil coatings: effect on microbiological, physicochemical, and organoleptic properties of guava (*Psidium guajava* L.) during room temperature storage. **Biomolecules**. 9: 399.
- Turek, C. and Stintzing, F. C. 2013. Stability of essential oils: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 12(1): 40-53.
- Upadhyay, U.D. and Hotbrook, E.H. 2004. Olfactory loss as a result of toxic exposure. **Otolaryngologic Clinics North America**. 37: 1185-1207.
- Viña, S.Z. and Chaves, A.R. 2006. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. **Food Chemistry**. 94(1): 68-74.
- Weiss, J. 1999. **Effect of mass transport processes on physicochemical properties of surfactant stabilized emulsions**. Ph.D. Thesis of University of Massachusetts Amherst.
- Whitaker, J.R. and Lee, C.Y. 1995. Recent advances in chemistry of enzymatic browning: an overview. **Agricultural Meeting of the Chemistry at the 208th**. 2-7.
- Whitaker, J.R., Voragen, A.G.J. and Wong, D.W.S. 2002. **Handbook of Food Enzymology**. CRC Press. Boca Raton. 1128.
- Xu, L.W., Chen, J., Huan, H.Y. and Shi, Y.P. 2012. Phytochemicals and their biological activities of plants in Tagetes. **Journal Chinese Herbal Medicines**. 4(2): 103-117.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Xu, J., Zhou, L., Miao, J., Yu, W., Zou, L., Zhou, W., Liu, C. and Liu, W. 2020. Effect of cinnamon essential oil nanoemulsion combined with ascorbic acid on enzymatic browning of cloudy apple juice. **Food and Bioprocess Technology**. 13(1): 860–870.
- Yathindra, H.A., Keerthishankar, K., Rajesh, A.M., Harshavardhan, M., Mutthuraju, G.P. and Mangala, K.P. 2018. Packaging technology for extending shelf life of jasmine (*Jasminum sambac* CV. Mysuru Mallige) flowers. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. 3: 257-259.
- Youwei, Z., Jinlian, Z. and Yonghong, P. 2007. A comparative study on the free radical scavenging activities of some fresh flowers in Southern China. **Food Science and Technology**. 41: 1586-1591.
- Yu, Y., Lyu, S., Chen, D., Lin, Y., Chen, G. and Ye, N. 2017. Volatiles emitted at different flowering stages of *Jasminum sambac* and expression of genes related to α -farnesene biosynthesis. **Molecules**. 22(4): 546.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V. and Bernal-Couoh, T.F. 2018. Nanosystems in edible coatings: A novel strategy for food preservation. **International Journal of Molecular Sciences**. 19: 705.
- Zhou, Y.C., Dahler, J.M., Underhill, S.J.R. and Wills, R.B.H. 2003. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. **Food Chemistry**. 80: 565-572.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)	นางสาวกิตติญา แยมสุริโยทัย
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Kittiya Yeamsuriyotai
วัน เดือน ปีเกิด	31 กรกฎาคม 2543
ที่อยู่ปัจจุบัน	188/2 หมู่ 3 ตำบลแก่ง อำเภอมือง จังหวัดระยอง 21160
ประวัติการศึกษา	2564 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ เกรดเฉลี่ย 3.51 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	<p>First Price Oral Presentation; Yeamsuriyotai, K., Pradabkun, N., Yonsawad, N., Teerarak, M. and Laosinwattana C. (2024). Inhibitory effects of gardenia flower essential oil emulsion on browning appearance in jasmine (<i>Jasminum sambac</i> Ait.). The 11th International Conference on the Integration of science and Technology for Sustainable Development. Chennai: Sathyabama Institute of Science and Technology.</p> <p>Best Poster Presentation Award; Yeamsuriyotai, K., Pradabkun, N., Manichart, N., Yonsawad, N., Laosinwattana C. and Teerarak, M. (2025). <i>Jasminum officinale</i> essential oil nanoemulsion for controlling browning appearance and quality of jasmine flower. The 20th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. Harbin: Harbin Institute of Technology.</p> <p>Yeamsuriyotai, K., Pradabkun, N., Manichart, N., Yonsawad, N., Khamchatra, N., Laosinwattana C., Teerarak, M. and Somala, N. (2025). Formulation and evaluation of nanoemulsions from <i>Jasminum officinale</i> essential oil for controlling postharvest browning and</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

maintaining quality in jasmine (*Jasminum sambac*) flowers. *Frontiers in Plant Science*. 16: 1541721.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้