การใช้น้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราเพื่อชะลอการตกกระและควบคุมคุณภาพของกล้วยไข่

APPLICATION OF BETEL AND HOLY BASIL LEAF ESSENTIAL OILS FOR DELAYING SENESCENT SPOTTING AND MAINTAINING QUALITY IN BANANA (*Musa sapientum* LINN.)

นิภาวรรณ มากบริบูรณ์

NIPAWAN MAKBORIBOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-AG-M-065-413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF BETEL AND HOLY BASIL LEAF ESSENTIAL OILS FOR DELAYING SENESCENT SPOTTING AND MAINTAINING QUALITY IN BANANA (*Musa sapientum* LINN.)

NIPAWAN MAKBORIBOON

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

2023

KMITL-2023-AG-M-065-413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNO LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้น้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราเพื่อชะลอการตกกระและควบคุมคุณภาพของกล้วยไข่
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิภาวรรณ มากบริบูรณ์
รหัสประจำตัว	61604049
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. มณทินี ธีรารักษ์

บทคัดย่อ

กล้วยไข่ (*Musa sapientum* Linn.) เกิดการเสื่อมสภาพง่ายภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเกิดจุดสีน้ำตาลบนเปลือกกล้วยไข่หรือเรียกว่าการตกกระซึ่งส่งผลให้มูลค่าทางการตลาดและการกระตุ้นในการตัดสินใจซื้อลดลง นำกล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลแก่สีเขียวมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลและองค์ประกอบทางเคมีระหว่างกระบวนการสุกที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่าความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ในระยะดิบลดลงจาก 7 นิวตัน เหลือน้อยกว่า 2 นิวตันในระยะสุกงอมและสุกงอมมาก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาพัฒนาการสุก ในขณะที่ค่าความเป็นกรดที่ไตเตรทได้ (TA) คงอยู่ในระดับสูงในระหว่างพัฒนาการสุก ความสว่างของเปลือกกล้วยเพิ่มขึ้นจากระยะดิบไปสู่ระยะสุก ลดลงในระยะสุกงอมและลดลงอย่างรวดเร็วในระยะสุกงอมมาก การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล และการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีน้ำตาล และยังพบว่าเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และเปอร์ออกซิเดส (POD) เกิดกิจกรรมต่ำในระยะผลดิบ จากนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อการสุกเพิ่มขึ้น และรักษาระดับที่สูงกว่าผลดิบอย่างมีนัยสำคัญ

น้ำมันหอมระเหยจากใบพลู (*Piper betle*) และใบกะเพรา (*Ocimum sanctum*) ได้รับการคัดเลือกเพื่อนำมาทดลองลดการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วยไข่ในระหว่างการวางขาย โดยเตรียมน้ำมันหอมระเหยทั้ง 2 ชนิดในรูปอิมัลชันเพื่อให้เข้ากันได้ดีกับน้ำ โดยนำน้ำมันหอมระเหยจากใบพลู ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Tween40 อัตราส่วน 1:2 และน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Tween40 อัตราส่วน 1:0.5 ทำให้เกิดไมโครอิมัลชันขนาดอนุภาคน้ำมัน เท่ากับ 143 และ 156 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งกิจกรรม PPO และ POD ของน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันและน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ในหลอดทดลอง พบว่า น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันมีแนวโน้มการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงกว่าน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอมระเหยบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 2% อย่างมีนัยสำคัญ การทดลองถัดมายืนยันผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราต่อการเกิดการตกกระของกล้วยไข่ นำกล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลแก่สีเขียวแช่ในน้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0, 0.002, 0.004 และ 0.008% เป็นเวลา 5 นาที และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง บันทึกการเปลี่ยนแปลงของสี, การสูญเสียน้ำหนัก, ความแน่นเนื้อ, TSS, TA, ฟีนอลิกทั้งหมด, กรดแอสคอร์บิก, ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์, การรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์, กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ตลอดจนกิจกรรมของ PPO และ POD ผลการศึกษาพบว่า การสุกของกล้วยไข่ชุดควบคุมไม่แตกต่างกับกล้วยไข่ที่แช่ในน้ำมันหอมระเหย แต่กล้วยไข่ชุดควบคุมพบการตกกระบริเวณเปลือกมากในระยะสุกงอมและสุกงอมมาก กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.004% ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี รักษาความแน่นเนื้อของผล และพบค่า TSS ต่ำ สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา 0.004% ช่วยส่งเสริมการสะสมของสารประกอบฟีนอลิก และกรดแอสคอร์บิก รักษากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และยังพบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ในระดับต่ำ รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD อยู่ในระดับต่ำกว่าชุดควบคุม จึงทำให้กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา 0.004% มีอายุการวางจำหน่าย 8 วัน ในขณะที่กล้วยไข่ชุดควบคุมมีอายุการวางจำหน่าย 6 วัน

ผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาการสุกของกล้วยไข่มีผลต่อความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผล และกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส และจากศึกษายังแสดงให้เห็นว่า น้ำมันหอมระเหยกะเพราอาจใช้ควบคุมการตกกระของเปลือกกล้วยไข่ในระหว่างการวางขายโดยไม่รบกวนกระบวนการสุก

คำสำคัญ: กล้วยไข่, การตกกระ, น้ำมันหอมระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of Betel and Holy Basil Leaf Essential Oils for Delaying Senescent Spotting and Maintaining Quality in Banana (*Musa sapientum* LINN.)
Student name	Miss Nipawan Makboriboon
Student ID	61604049
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Montinee Teerarak

ABSTRACT

Musa sapientum Linn. banana is susceptible to senescence after harvest with symptoms of brown color in banana peel, known as senescent spotting, leading to severely reduces its marketing value and the attractiveness of the fruit. The dynamics in the activity of enzymes associated with the enzymatic browning and chemical composition during the fruit ripening process for *M. sapientum* banana to ripen at ambient temperature. The results showed that the firmness of the fruit decreased from 7 N at the mature green stage to less than 2 N at the overripe and very ripe stages. The total soluble solids (TSS) increased throughout the ripening period, whereas the titratable acidity (TA) maintained a high level during the ripening process. The lightness of the banana peel increased from the raw stage to the ripe stage, decreased at the overripe stage, and then dropped sharply at the very ripe stage. This color change was linked to the browning incidence of the fruit peel and an increasing browning area. The polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) showed a low activity at the raw stage and then increased with advancing ripening and maintained a significantly higher level than the mature green stage fruit.

Betel (*Piper betle*) and holy basil (*Ocimum sanctum*) leaf essential oils were selected to minimize *M. sapientum* banana peel browning during marketing. To dissolve essential oils in water, essential oil/Tween40 ratio of 1:2 for betel essential oil and 1:0.5 for holy basil essential oil were prepared in the emulsions. The average droplet size of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

both emulsions was in the micro-scale range, with values of 143 and 156 nm. The inhibition of PPO and POD activities of the formulated emulsion and pure essential oil was compared under *in vitro*. The holy basil essential oil in emulsion had a relatively higher inhibition of PPO activities than those of the pure essential oil at the same concentration but statistically not significant. The inhibition of POD activity of betel essential oil in emulsion was significantly higher than that of pure essential oil at concentration of 2%. This experiment confirmed the inhibitory effects of betel and holy basil leaf essential oils on the senescent spotting appearance of *M. sapientum* banana fruit. Samples harvested at the mature-green fruit stage were dipped in betel and holy basil leaf essential oils in emulsion at concentrations of 0, 0.002, 0.004 and 0.008% for 5 min, and then stored at room temperature. Changes in the color, weight loss, firmness, TSS, TA, total phenolics, ascorbic acid, malondialdehyde content, electrolyte leakage, DPPH radical scavenger as well as activities of PPO and POD were measured. The ripening process of the essential oil treated banana fruits proceeded similar to that of untreated fruits, however the senescent spotting in control was more at overripe and very ripe stages. Bananas treated with 0.004% of holy basil essential oil reduced weight loss, retained color, firmness and recorded low TSS. For biochemical parameters, treatment with 0.004% of holy basil essential oil promoted the accumulation of phenolic compounds, ascorbic acid and retained DPPH radical scavenging activity and recorded low malondialdehyde content, electrolyte leakage as well as PPO and POD activities. With use of holy basil leaf at 0.004%, *M. sapientum* banana had shelf life at the limit of salability 8 days while the control had a shelf life of 6 days.

The findings of this study exhibited that the ripening stages of the *M. sapientum* banana influence the firmness, peel color, and browning incidence of the fruit peel and the polyphenol oxidase and peroxidase activities. These results suggest that holy basil essential oil may be potentially used for controlling senescent spotting in *M. sapientum* banana peel during marketing, without an interference on its ripening process.

Keywords: *M. sapientum*, senescent spotting, Essential oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. มณทินี ธีรารักษ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยชี้แนะ และให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มต้นทำการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณคณะกรรมการที่รับฟังและให้คำแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ดร. นิภาพร ยลสวัสดิ์ เพื่อนและน้องนักศึกษาระดับปริญญาโททุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจช่วยแก้ไขปัญหาในการทำวิจัย โดยเฉพาะ นางสาว อนัญญา ศรีจันทร์ ขอขอบคุณอย่างยิ่งที่คอยให้ความช่วยเหลืออย่างมากเสมอมา และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนมาตลอดจนถึงบัดนี้

สุดท้ายนี้ขอแสดงความขอบคุณทุกท่านที่กล่าวมาอีกครั้งที่ให้การสนับสนุน ข้าพเจ้าซาบซึ้งใจอย่างยิ่งจึงขอแสดงความนับถือมา ณ ที่นี้

นางสาวนิภาวรรณ มากบริบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..... ก

ABSTRACT..... ค

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... 2

1.5 ขอบเขตงานวิจัย..... 3

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... 3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 กล้วยไข่..... 4

2.2 การสุกของกล้วย..... 4

2.3 การตกกระของกล้วยไข่..... 7

2.4 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการตกกระของกล้วยไข่..... 8

2.4.1 เอนไซม์ peroxidase 8

2.4.2 เอนไซม์ polyphenol oxidase..... 8

2.5 การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วย..... 9

2.6 น้ำมันหอมระเหยจากพืช..... 11

2.6.1 อิมัลชัน..... 14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 15

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... 16

3.1.1 พืช..... 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 น้ำมันหอมระเหยและสารลดแรงตึงผิว..... 16

3.1.3 สารเคมี..... 16

3.1.4 เครื่องมือวิทยาศาสตร์..... 16

3.1.5 อุปกรณ์วิทยาศาสตร์..... 16

3.2 วิธีทำการทดลอง..... 16

3.2.1 การเตรียมพืช..... 16

3.2.2 การทดลองที่ 1 : การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ต่อระยะการสุก..... 17

3.2.3 การทดลองที่ 2 : การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase..... 20

3.2.4 การทดลองที่ 3 : ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่..... 23

3.2.5 การทดลองที่ 4 : ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่..... 26

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 29

4.1 การทดลองที่ 1 : การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ต่อระยะการสุก..... 29

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิว..... 29

4.1.2 ความแน่นเนื้อ การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA)..... 29

4.1.3 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase..... 29

4.2 การทดลองที่ 2 : การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase..... 33

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ขนาดอนุภาคน้ำมันและค่า zeta potential..... 33

4.2.3 ความสามารถในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase..... 34

4.3 การทดลองที่ 3 : ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่..... 39

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนัก..... 39

4.3.2 ประเมินการสุกของกล้วยไข่..... 39

4.3.3 ประเมินการเกิดอาการตกกระ..... 40

4.4 การทดลองที่ 4 : ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่..... 45

4.4.1 การสูญเสียน้ำหนัก..... 45

4.4.2 ประเมินการสุกของกล้วยไข่..... 47

4.4.3 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่..... 47

4.4.4 การประเมินอายุการวางจำหน่าย..... 48

4.4.5 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยไข่..... 52

4.4.6 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วยไข่..... 54

4.4.7 ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่..... 55

4.4.8 ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA)..... 55

4.4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้..... 56

4.4.10 ปริมาณวิตามินซี..... 57

4.4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์..... 58

4.4.12 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase..... 60

4.4.13 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase..... 60

4.4.14 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์..... 62

4.4.15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก..... 63

4.4.16 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)..... 64

4.4.17 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay..... 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	66
5.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ระหว่างการสุก	66
5.2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase	67
5.3 การใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่	69
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
6.1 การทดลองที่ 1 : การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ระหว่างการสุก	73
6.2 การทดลองที่ 2 : การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase	73
6.3 การทดลองที่ 3 : ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่	73
6.4 การทดลองที่ 4 : ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูอิมัลชันต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่	74
บรรณานุกรม	75
ประวัติผู้เขียน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การเปลี่ยนแปลงสี (CIE L* a* b*) และความแตกต่างของสี *(ΔE)* ในผลกล้วยไข่ระหว่างการสุก	30
4.2	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน	36
4.3	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน	37
4.4	ขนาดของอนุภาคและค่าความเสถียรของน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากใบพลูและใบกะเพรา	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ภาพตัดขวางลักษณะเหลี่ยมของผลกล้วยในระยะสุกแก่ต่างๆ	6
2.2	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase.....	9
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัยตามวิทยานิพนธ์อย่างสรุป.....	15
3.2	กล้วยไข่จากสวนในจังหวัดจันทบุรี.....	17
3.3	ลักษณะการสุกของกล้วยไข่ในระยะดิบ ระยะห่าม ระยะสุก ระยะสุกงอม และระยะสุกงอมมาก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	20
3.4	เกณฑ์ระดับคะแนนการประเมินการสุกของกล้วยไข่.....	25
3.5	เกณฑ์ระดับคะแนนการประเมินความรุนแรงของการตกกระของเปลือกกล้วยไข่.....	25
4.1	ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA) ในกล้วยไข่ระหว่างการสุก.....	31
4.2	กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ในผลกล้วยไข่ระหว่างการสุก.....	32
4.3	ความสามารถในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน.....	38
4.4	การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน.....	41
4.5	ประเมินการสุกของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน.....	42
4.6	ประเมินการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน.....	43
4.7	การเปลี่ยนแปลงการสุกและการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	46
4.9	การเปลี่ยนแปลงการสุกและการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	49
4.10	ประเมินการสุกของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	50
4.11	ประเมินการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	51
4.12	การประเมินอายุการวางจำหน่าย.....	52
4.13	การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกกล้วยไข่แสดงเป็นค่าสี (CIE L* a* b*) หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	53
4.14	ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	54
4.15	ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	55
4.16	ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	56
4.17	ปริมาณวิตามินซีของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.18	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	59
4.19	กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	61
4.20	ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	62
4.21	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	63
4.22	ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	64
4.23	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กล้วยไข่ (Kluai khai) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn. เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ นิยมปลูกในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เช่น กำแพงเพชร นครสวรรค์ และจันทบุรี และมีตลาดคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ มณฑลเสฉวน มหานครฉงชิ่ง นครเซี่ยงไฮ้ ปักกิ่ง กวางโจว มณฑลเจ้อเจียง มณฑลเจียงซู และมณฑลอันฮุย (เทคโนโลยีชาวบ้าน. 2561) จุดเด่นของกล้วยไข่คือรสชาติดี มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ลักษณะการเรียงตัวของผลและสีผลสวยสะดุดตา ผลเล็กรับประทานง่าย นิยมรับประทานช่วงลดน้ำหนัก มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยในกล้วยไข่ 100 กรัม มีสารเบต้าแคโรทีนจำนวน 492 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนตี้ออกซิแดนซ์ ช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย และชะลอความความแก่ หลังการเก็บเกี่ยวกล้วยไข่จะพบการตกกระบริเวณเปลือก (senescent spotting) โดยอาการตกกระจะพบเมื่อกล้วยไข่เริ่มเข้าสู่ระยะการสุก โดยเริ่มปรากฏอาการในระยะเปลือกสีเหลืองอมเขียว และเมื่อผลสุกมากขึ้นอาการตกกระจะปรากฏชัดเจน ลักษณะคล้ายกับเชื้อโรคเข้าทำลาย โดยจุดตกกระสีน้ำตาลมีขนาดเล็กเท่าปลายเข็มหมุด และขนาดจะขยายใหญ่ สีเปลือกเข้มมากขึ้นตามพัฒนาการสุก จากนั้นจุดดังกล่าวจะขยายพื้นที่เชื่อมต่อกันเป็นแนวและเกิดเป็นรอยบุ๋มเนื่องจากการตกกระทำให้เนื้อเยื่อของผลกล้วยไข่อ่อนแอ ส่งผลให้ผนังเซลล์เสื่อมสภาพเกิดการคายน้ำมากขึ้นทำให้เนื้อเยื่อติดเชื้อได้ง่าย อีกทั้งผิวของกล้วยไข่จะกลายเป็นสีดำ (เพชรรัตน์ เนตรลักษณ์ และคณะ, 2559) ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งเป็นปัญหาด้านคุณภาพอย่างมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Amri and Hossain, 2018) Zheng and Tian (2006) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสรีรวิทยาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD) ซึ่งสีน้ำตาลเป็นผลมาจากความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์และเกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันของเอนไซม์ของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนสีน้ำตาลของผักและผลไม้หลายชนิด (Nguyen, 2003)

การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยสามารถทำได้หลายวิธีอาทิเช่น การใช้สารเคลือบผิวสามารถลดการตกกระของกล้วยไข่ได้ และการเคลือบผิวอาจจะยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิก dopamine เป็นสารสีน้ำตาล เนื่องจากสาร dopamine เป็นสารที่มีบทบาทในการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกและเนื้อกล้วย การเคลือบผิวอาจช่วยในการกำจัดปริมาณออกซิเจนในการออกซิเดชัน dopamine โดยการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase หลังการเก็บเกี่ยว (สายชล เกตุษา, 2549) การใช้สารเคมีที่ได้รับความนิยมได้แก่ กรดแอสคอร์บิก ธีรนุช เร่งวัฒนะชัย และคณะ (2553) กล่าวว่ากล้วยหอมที่ผ่านการแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก 1%, 2% และ 3% มีค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สว่างมากกว่าตัวอย่างควบคุมและการลวก และในการทดลองผลิตสมูตตี้จากกล้วยหอมแช่เยือกแข็ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลก็เพิ่มขึ้น การใช้กรดแอสคอร์บิกไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และสามารถรักษาความสว่างของไซรัปกล้วยได้ดีกว่าชุดควบคุม (สุริยัณห์ สุภาพวานิช และคณะ, 2557) แต่ในปัจจุบันนี้เริ่มมีการใช้น้ำมันหอมระเหยเข้ามาช่วยในเรื่องของการลดการเกิดสีน้ำตาลในผัก โดย Chen *et al.* (2017) นำน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูมาใช้ลดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ลดลง ซึ่งเป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยเป็นสารธรรมชาติที่ไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2554) ลดปัญหาการตกค้างของสารในผลไม้ งานวิจัยในครั้งนี้จึงทำการศึกษาการใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปของอิมัลชันเพื่อยับยั้งการตกกระของกล้วยไข่ เพื่อเป็นองค์ความรู้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ทราบการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ในกล้วยไข่ระหว่างการสุก

1.2.2 เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชัน และทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยไข่

1.2.3. ศึกษาผลการนำน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันมาประยุกต์ใช้ในกล้วยไข่เพื่อชะลอการเกิดการตกกระบนเปลือกกล้วยไข่

1.3 สมมุติฐานการศึกษา

ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยไข่เริ่มพัฒนาการสุกจะเกิดจุดสีน้ำตาลหรือเรียกว่าการตกกระ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์หลายชนิดแต่เอนไซม์ที่สำคัญคือ เอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ทำให้กล้วยไข่มีลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการใช้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลมาใช้ยับยั้งการตกกระของกล้วยไข่จะช่วยให้สามารถควบคุมคุณภาพของกล้วยไข่ให้มีลักษณะที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้บริโภค

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

เมื่อกล้วยไข่เริ่มพัฒนาการสุกการเกิดจุดตกกระเป็นปัญหาอย่างหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลง เนื่องจากไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้นิยมใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดออกซาลิก เป็นต้น แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มตระหนักในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น ซึ่งน้ำมันหอมระเหยเป็นสารธรรมชาติที่มีคุณสมบัติสามารถต้านอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระได้ และเริ่มมีการใช้น้ำมันหอมระเหยที่เป็นสารธรรมชาติเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลในผักตัดแต่ง ในการคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลู ใบมะกรูด ผิวมะกรูด ใบกะเพรา ขิง และตะไคร้ พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase จากแปลือกกล้วยไข่ได้ดีที่สุด การวิจัยครั้งนี้จึงนำน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพรามาใช้ทดสอบ และเตรียมในรูปอิมัลชันเพื่อให้เข้ากับน้ำและเจือจางด้วยน้ำตามความเข้มข้นที่เหมาะสม น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจะทำให้มีอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้การดูดซึมของสารผ่านผนังเซลล์ง่ายขึ้น มีความคงตัวและมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น จึงนำคุณสมบัตินี้มาใช้ในงานวิจัยเพื่อลดการตกกระของกล้วยไข่ และควบคุมคุณภาพของกล้วยไข่เพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัยต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่ในระหว่างการสุก

1.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราบริสุทธิ์และรูปอิมัลชัน ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase จากเปลือกกล้วยไข่

1.5.3 ประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพารูปอิมัลชันต่อการตกกระและคุณภาพของกล้วยไข่ระหว่างการเก็บรักษา

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง โดยการทดลองแรกเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ต่อระยะการสุก เก็บข้อมูลตามระยะการสุก 5 ระยะ ได้แก่ ระยะดิบ ระยะห่าม ระยะสุก ระยะสุกงอม และระยะสุกงอมมาก การทดลองถัดมาเป็นการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD การทดลองต่อมาทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่ และการทดลองสุดท้ายทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันในการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยไข่

กล้วยไข่เป็นพืชเขตร้อนมีต้นกำเนิดมาจากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศไทยนิยมปลูกและบริโภคกล้วยไข่รองจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมสามารถปลูกกล้วยไข่ได้ทุกภาคของประเทศ ซึ่งแหล่งผลิตกล้วยไข่ที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดตาก กำแพงเพชร นครสวรรค์ จันทบุรี และเพชรบุรี ปัจจุบันพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ในประเทศไทยเริ่มมีมากขึ้น เนื่องจากกล้วยไข่ไทยได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อการส่งออก โดยตลาดคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน และฮ่องกง มีการสั่งซื้อมากที่สุด รองลงมาคือประเทศญี่ปุ่น และสิงคโปร์ กล้วยไข่จัดเป็นกล้วยที่มีผลขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกล้วยชนิดอื่นๆ นิยมรับ ประทานสด มีรสชาติหวาน อร่อย กลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ ลักษณะการเรียงตัวของผลและสีของผลสวยงาม (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2562) กล้วยไข่ในประเทศไทยที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์กำแพงเพชร และเกษตรศาสตร์ 2 โดยกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชร ผลอ่อนเปลือกจะมีสีเขียว เนื้อผลสีครีมอมเหลือง ผลแก่เปลือกจะมีสีเหลืองกระดังงา เนื้อสีเหลืองมีผล 14-18 ผลต่อหวี รสชาติหวาน เนื้อแน่นละเอียดและมีกลิ่นหอม เหมาะสำหรับรับประทานสดหรือทำขนม ส่วนกล้วยไข่เกษตรศาสตร์ 2 ผลจะสั้นกว่าพันธุ์กำแพงเพชร ผลอ่อนผิวมีสีเขียว เนื้อผลสีครีมอมเหลืองเมื่อสุกผิวจะมีสีเหลืองสดใส เนื้อผลสีเหลืองเข้ม เนื้อละเอียดเนียน ไม่มีไส้กลาง ลักษณะของขั้วคล้ายกับกล้วยหอมทอง การเรียงตัวของผลดีเหมาะกับการส่งออก นิยมรับประทานผลสด

2.2 การสุกของกล้วย

เมื่อผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวจะเกิดความเครียดขึ้นภายในผล เนื่องจากผลไม้ยังคงมีชีวิต แต่ถูกตัดขาดจากแหล่งอาหารและน้ำ จึงต้องมีการนำอาหารและน้ำที่สะสมอยู่มาใช้ในกระบวนการพัฒนา มีการสลายของสารประกอบบางชนิด พร้อมทั้งการสร้างสารประกอบชนิดต่าง ๆ เพื่อจะเร่งให้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผลที่เก็บเกี่ยว ได้แก่ การหายใจ กล้วยมีอัตราการหายใจเปลี่ยนแปลงตามอายุนับจากที่เริ่มแก่จัด อัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง เปลือกและเนื้อกล้วยเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ เช่นวิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน ฟลาโวนอยด์ จากการรายงานของ Vu *et al.* (2019) กล่าวว่ากล้วยยังเป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิก เช่น dopamine, ferulic acid และ caffeic acid รวมถึงแทนนิน ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกล้วยขึ้นอยู่กับพันธุกรรม สภาพพื้นที่ปลูก การเขตกรรม ขั้นตอนและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสุกแก่ และระยะการสุก ในระหว่างการสุกของกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งภายนอกและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมีของผล เช่น การเปลี่ยนสีของเปลือก การเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล ทำให้มีรสหวาน เนื้อนิ่ม กลิ่นหอมมากกว่าผลดิบ (สรัล ยิ้มมงคล, 2561) สีเขียวของเปลือกกล้วยประกอบด้วยเม็ดสีสองชนิด คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งมีสีเขียว และแคโรทีน (carotene) ซึ่งมีสีเหลือง ในระหว่างการสุกคลอโรฟิลล์จะถูกทำลายโดย chlorophyllase จนเหลือแต่ carotene (เปมิกา พรหมแก้ว และคณะ, 2560) การสลายตัวขององค์ประกอบในผนังเซลล์ของผล ทำให้ผลนิ่มลง (softening) ซึ่งเป็นกระบวนการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่เกิดจากระบบป้องกันออกซิเดชันสูญเสียความสมดุล โดยสารต้านออกซิเดชันภายในเซลล์ไม่สามารถกำจัดอนุมูลที่มีปริมาณมากได้ ลิพิดเป็นสารชีวโมเลกุลที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้เกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ส่งผลให้ปริมาณอนุมูลอิสระสูงขึ้น และเข้าทำลายโครงสร้างและหน้าที่ของเมมเบรนและออร์กาเนลล์ต่างๆ ทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage หรือ EL) และเซลล์เกิดความเสียหาย โดยตัวกลางสำคัญของลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน ได้แก่ คอนจูเกตไดอีน (conjugated diene) อนุมูลอิสระเพอรอกซิล (peroxyl radicals) และไฮโดรเพอรอกไซด์ (hydroperoxides) และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่สำคัญ ได้แก่ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) (สิรวิชญ์ โชติกะคาม และคณะ, 2557) ความเสียหายจากการออกซิเดชันของเยื่อหุ้มเซลล์และโปรตีนส่วนใหญ่เกิดจากออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (Koc *et al.*, 2004) Yang *et al.* (2008) พบว่า การเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างที่ผลกล้วยสุก ซึ่งปริมาณ MDA ของเนื้อผลกล้วยหอมพันธุ์ Williams เพิ่มสูงขึ้น 11 เท่าขณะที่ผลสุกที่ 22 องศา นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ยังมีความเกี่ยวข้องกัน เนื่องจากเป็นสารที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบได้ในพืชผักผลไม้ ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช และระดับการสุก (เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557 ; Andersen and Markham, 2006) และสารประกอบฟีนอลิกยังเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาสีน้ำตาล และเอนไซม์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล (Kamdee *et al.*, 2009) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ในอาหาร ผักและผลไม้หลายชนิดซึ่งสามารถเกิดได้ตั้งแต่ช่วงหลังจากการเก็บเกี่ยว ระหว่างกระบวนการแปรรูปจนถึงระหว่างการเก็บรักษาวัตถุดิบ (Robards *et al.*, 1999) โดยความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เอนไซม์และสารตั้งต้นมารวมกัน (Toivonen, 1992) สารประกอบฟีนอลิกและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์พบในเปลือกมากกว่าเนื้อและผลดิบมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผลสุก (Fatemeh *et al.*, 2012) อดิศร จารูญ และคณะ (2558) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ และวิเคราะห์อนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ในกล้วยหินและกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็บมือนาง พบว่ากล้วยเล็บมือนางมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์สูงกว่ากล้วยหิน การสุกของกล้วยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสีเปลือกและดัชนีความแก่ที่ขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วยดังนี้

ระยะที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวอมเหลือง

ระยะที่ 3 เปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลือง แต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกมีสีเหลืองแต่ปลายผลยังมีสีเขียว

ระยะที่ 6 เปลือกมีสีเหลืองเต็มผล (ผลสุก)

ระยะที่ 7 เปลือกมีสีเหลืองและเกิดจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่และมีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวเปลือกมีสีเหลืองและเกิดจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

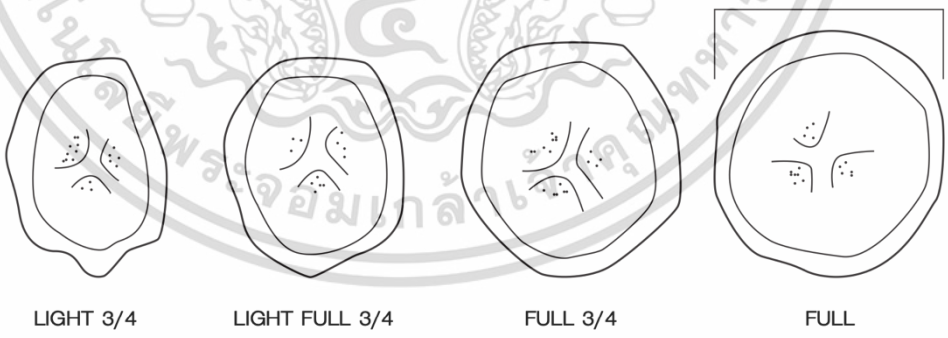
ความสุกแก่ของกล้วย สามารถดูได้จากลักษณะภายนอกของผลกล้วยคือความเหลี่ยมของผลกล้วยซึ่งมีลักษณะดังนี้ (ภาพที่ 2.1)

Light 3/4 หมายถึง ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่ หรือมีความแก่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

Light Full 3/4 หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมเห็นชัด มีความแก่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

Full 3/4 หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

Full หมายถึง ไม่มีเหลี่ยมเลย เรียกว่าแก่เต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2562)



ภาพที่ 2.1 ภาพตัดขวางลักษณะเหลี่ยมของผลกล้วยในระยะสุกแก่ต่างๆ

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตกกระของกล้วยไข่

การตกกระ (senescent spotting) จะเกิดเฉพาะกับกล้วยไข่ที่เริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกเมื่อสีผิวของผลกล้วยเริ่มเปลี่ยนจากสีเหลืองกระดังงาเป็นสีเหลืองเข้มก้านผลและปลายผลไม่พบสีเขียวอยู่ โดยจุดตกกระสีน้ำตาลมีขนาดเล็กเท่าปลายเข็มหมุด และขนาดจะขยายใหญ่ขึ้นตามพัฒนาการสุกของกล้วยไข่ จากนั้นจุดดังกล่าวจะขยายพื้นที่เชื่อมต่อกันเป็นแนวและเกิดเป็นรอยบุ๋มเนื่องจากการตกกระทำให้เนื้อเยื่อของผลกล้วยไข่อ่อนแอ ผนังเซลล์เสื่อมตัวลงทำให้เกิดการคายน้ำมากขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อติดเชื้อได้ง่าย อีกทั้งผิวของกล้วยไข่จะกลายเป็นสีดำ (เพชรรัตน์ เนตรลักษณ์ และคณะ, 2559) การตกกระของกล้วยไข่เกิดขึ้นจากความผิดปกติทางสรีระ (physiological disorder) ของกล้วย โดยลักษณะอาการภายนอกจะคล้ายกับผลกล้วยเน่าเสียจากเชื้อโรคบางชนิดเข้าทำลาย (Ketsa, 1995) การศึกษาวิจัยกล้วยไข่ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า การใช้ถุงพลาสติกคลุมเครือกล้วยควบคู่กับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อโรคทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว และเก็บไว้ในสภาพที่ปลอดเชื้อโรคแต่ยังพบการตกกระของผลกล้วยไข่อยู่ จึงสันนิษฐานว่าการตกกระของกล้วยไข่ไม่มีสาเหตุเบื้องต้นมาจากเชื้อโรค เพื่อศึกษาการตกกระของกล้วยไข่ โดยเปรียบเทียบกับการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อพืชชนิดต่างๆ เช่น เนื้อสีขาวของผลแอปเปิลที่ตากลมไว้เกิดสีน้ำตาล การเกิดสีผิดปกติของผลิตผลเขตร้อน เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (chilling injury 0 -12 องศาเซลเซียส) ซึ่งสีน้ำตาล (quinones) ที่เกิดขึ้นมาเกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase กับสารฟีนอลิก (phenolics) ในสภาวะที่มีออกซิเจน เม็ดสีเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และตกตะกอนอยู่ตามเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งขนาดและการกระจายตัวของจุดสีน้ำตาลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม ปัจจัยในการเกิดจุดตกกระของกล้วยไข่เมื่อทำการทดลองพบว่ามี 5 ปัจจัย คือ 1) พันธุกรรมของกล้วย ในประเทศไทยพบเพียงกล้วยไข่เท่านั้นที่มีการตกกระ 2) ปริมาณสารฟีนอลิก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการตกกระ เพราะสารฟีนอลิกเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสีน้ำตาล 3) ออกซิเจนเป็นตัวช่วยให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินต่อไปได้แต่หากไม่มีออกซิเจนเลยกล้วยไข่จะมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดผลิตผลเป็นแอลกอฮอล์ทำให้กล้วยไข่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ 4) อุณหภูมิมีผลยับยั้งการตกกระของผลกล้วยไข่ โดยที่อุณหภูมิ 12-18 องศาเซลเซียสจะลดการตกกระได้ดีที่สุด แต่เมื่อนำกลับมาไว้ในห้อง กล้วยไข่จะยังคงตกกระเช่นเดิม และเมื่อนำไปไว้ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 6-24 ชั่วโมง จะสามารถยับยั้งการตกกระของกล้วยไข่ได้อย่างถาวร และ 5) ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ จะช่วยให้การตกกระเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีความชื้นมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (สายชล เกตุษา, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการตกกระของกล้วยไข่

2.4.1 เอนไซม์ peroxidase

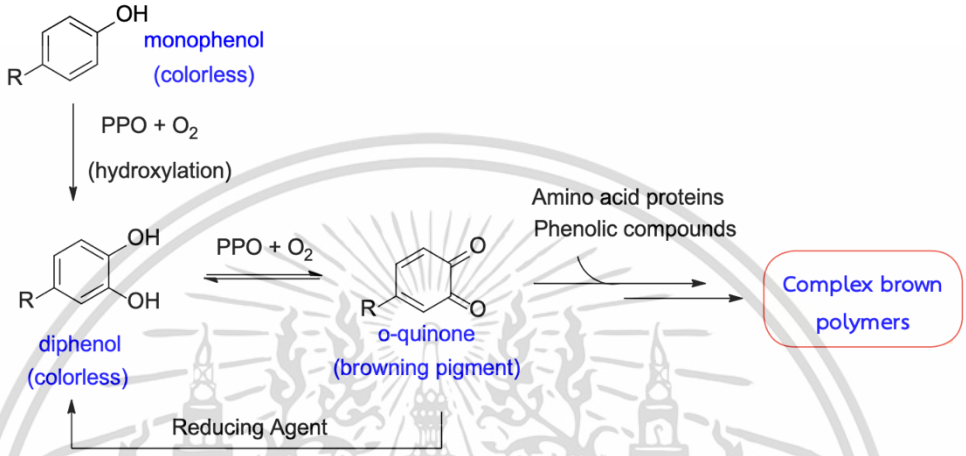
เอนไซม์ peroxidase (EC:1.11.1.7) มีการศึกษาครั้งแรกในหัวผักกาดหนูขาว (horseradish: *Armoracia rusticana*) โดย Bach และ Chodat เปอร์ออกซิเดสเป็นฮีโมโปรตีนที่มีฮีมเกาะอยู่หรือเป็นหมู่พรอสเตติก (prosthetic group) ซึ่งอาจมีคาร์โบไฮเดรตต่ออยู่ด้วยพันธะไกลโคซิดิก และยังจับกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) เปอร์ออกซิเดสทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง peroxide กับสารตั้งต้น โดยใช้ออกซิเจนจาก peroxide มาออกซิไดส์ (oxidise) สารที่เป็นซับสเตรท และเอนไซม์จะทำงานก็ต่อเมื่อสารตั้งต้นสามารถรับออกซิเจน สารที่เป็นสารตั้งต้นที่ถูกออกซิไดส์เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มที่หลากหลาย เช่น glutathione, cytochrome เป็นต้น ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่ช่วยควบคุมปริมาณของ H_2O_2 ร่วมกับแคตาเลส (catalase) สารตั้งต้นที่เปอร์ออกซิเดสสามารถใช้ได้ ได้แก่สารประกอบจำพวกฟีนอลิก สารประกอบอะโรมาติกเอมีน และสารประกอบอนินทรีย์บางชนิด (พัชรากร รัตนภูมี, 2543) เอนไซม์ peroxidase จะเกิดปฏิกิริยาเมื่อผ่านกระบวนการที่ทำลายเนื้อเยื่อ โดยจะทำงานเมื่อสารประกอบ phenolics อยู่ในรูป single-electron oxidation และมี hydrogen peroxide ด้วยการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อสร้างสารประกอบสีน้ำตาล (Cantos *et al*., 2002) เอนไซม์ peroxidase มีบทบาทในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพทางด้าน กลิ่น รส สี เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา และ Amrani *et al.* (2020) กล่าวว่าเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำงานเป็นตัวส่งเสริมการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase กับสารประกอบฟีนอลิกเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์ peroxidase

2.4.2 เอนไซม์ polyphenol oxidase

เอนไซม์ polyphenol oxidase (EC: 1.10.3.2) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ ซึ่งเกิดจากภายในเซลล์ของผลไม้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกเกิดเป็นสารประกอบพวกเมลานิน (melanin) ที่มีสีน้ำตาลและจะแสดงออกให้เห็นภายนอก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้นจะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ สารตั้งต้น เป็นสารประกอบฟีนอล เช่น แทนนินที่พบในผักผลไม้ เอนไซม์ในกลุ่มฟีนอเลส (phonolase) เช่น เอนไซม์ polyphenol oxidase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ค่า pH มีความเหมาะสม ซึ่งค่า pH ที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ฟีนอเลสอยู่ระหว่าง 5-7 และออกซิเจน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจัดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ภาพที่ 2.2) จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการช้ำ ฉีก ขาด เมื่อถูกกระแทก บด หรือการหั่น ทำให้เอนไซม์ของสารตั้งต้นและออกซิเจนสัมผัสกัน ทำให้สารไม่มีสีโมโนฟีนอล (monophenol) จะถูกออกซิไดส์เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสี และจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็น o-quinone และจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดแอมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่และมีสีน้ำตาล (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2562)



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์โพลีฟีนอล (polyphenol oxidase)
ที่มา : ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ (2565)

2.5 การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วย

การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆ ด้วยความร้อน การป้องกันไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนด้วยการจุ่มผักผลไม้ในน้ำเชื่อม การใช้สารเคลือบผิว หรือการใช้บรรจุแบบสุญญากาศ แต่วิธีที่เป็นที่นิยมคือการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ตัวอย่างเช่น กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี พบมากในผักและผลไม้สด เช่นผลไม้ตระกูลส้ม มะขามป้อม เชอรี่ และผักบุ้งจีน เป็นวิตามินที่ละลายได้ดีในน้ำและคงตัวดีในสภาวะที่เป็นกรด มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว ลักษณะของโมเลกุลคล้ายกับน้ำตาลกลูโคส เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น dehydroascorbic acid เป็นโมเลกุลที่มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาแอนตี้ออกซิแดนซ์ (antioxidant) กรดแอสคอร์บิกจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับแสง ออกซิเจน น้ำ ความร้อน และสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพเป็นด่าง ปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้วิตามินในพืชผักและผลไม้สลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะที่ถูกกระทำด้วยการตัด กระแทก และผ่านการหุ่งต้ม (ศรมน สุทิน, 2559) ในเชิงพาณิชย์จะทำการสังเคราะห์โดยการหมักแบคทีเรียของกลูโคสตามด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมี กรดแอสคอร์บิกมีเลขในระบบ E-number คือ E 300 มีหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นิยมใช้เป็นสารปรุงแต่งในอาหาร จริงแท้ ศิริพานิช (2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวว่า กรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของพืชได้ โดยจะไปรีดิวซ์ quinone ไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ และยังสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

การใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมแช่เยือกแข็งเพื่อผลิตสมูตตี้ ทำการศึกษาโดยใช้ใช้กล้วยหอมพันธุ์หอมทองมาผ่ากรรมวิธีต่างๆ คือ ตัวอย่างควบคุม แช่กรดแอสคอร์บิก 1%, 2% และ 3% เป็นเวลา 5 นาที และ วิธีการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Cryogenic Freezer และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน ผลการทดลองพบว่า กรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมแช่เยือกแข็ง ได้ดีกว่าการลวก โดยเมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น ในการทดลองผลิตสมูตตี้จากกล้วยหอมแช่เยือกแข็งพบว่า การแช่กรดแอสคอร์บิก 2% และ 3% เป็นเวลา 2 นาที ทำให้สมูตตี้กล้วยหอมไม่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น แต่ด้านรสชาติผู้ทดสอบชอบตัวอย่างที่แช่ ในกรดแอสคอร์บิก 2% มากกว่า เนื่องจากไม่มีรสเปรี้ยว (ธีรนุช เร่งวัฒนะชัย และคณะ. 2553) และมีการศึกษาการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับการลวกเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในไซรัปกล้วยไข่ โดยทำการทดลองเป็น 4 กลุ่ม คือ ชุดควบคุม กรดแอสคอร์บิก 1% โดยการผสมร่วมกับน้ำตาล การลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที และวิธีการลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิก 1% การศึกษาพบว่า การลวกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและเพิ่มความใสของไซรัปกล้วยไข่ได้ดีที่สุด (สุริยัณห์ สุภาพวานิช และคณะ, 2557) นอกจากนี้ Milani *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของกล้วยตากที่ผ่านการแช่แข็งด้วยกรดแอสคอร์บิกร่วมกับ quince seed mucilage (QSM) ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้ quince seed mucilage (QSM) และกรดแอสคอร์บิกเพื่อยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์สามารถป้องกันการเปลี่ยนฟีนอลเป็นควิโนนและลดการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์ จากผลการประเมินทางเคมีและประสาทสัมผัส พบว่าการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.05% + QSM 0.25% ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเอนไซม์ และคงสมบัติเชิงคุณภาพของกล้วยตากก่อนกระบวนการอบแห้ง

กรดออกซาลิก (oxalic acid) สูตรทางเคมีมีสูตรทางเคมีว่า $C_2H_2O_4$ เป็นกรดอินทรีย์ที่สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ หรือพบในอาหารทั่วไป และเป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติของพืชจำนวนมาก โดยถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อช่วยป้องกันการบูดและการเน่าเสียของอาหาร (Saimroommat, 2020) กรดออกซาลิกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เมแทบอลิซึมขั้นสุดท้ายของพืชถูกระบุว่ามีหน้าที่หลายอย่างในพืช เช่น กรดออกซาลิกเป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของชิ้นแอปเปิ้ลและกล้วยโดยการลดกิจกรรมของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (Yoruk *et al.,* 2004) เมื่อตรวจสอบผลของการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยการใช้กรดออกซาลิกในกล้วย (*Musa* spp., กลุ่ม AAA, cv. ‘Brazil ’) ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการจุ่มผลกล้วยลงในสารละลาย 0 (ควบคุม) กรดออกซาลิก 8 และ 20 mM นาน 10 นาที แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 2 ° C ความชื้นสัมพัทธ์ 75–90%) ผลการศึกษาพบว่ากรดออกซาลิกที่ 8 และ 20 mM ชะลอการลดลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีผลกล้วยอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ผลกล้วยที่จุ่มด้วยกรดออกซาลิกยังมีฤทธิ์ในการต้านเอนไซม์ peroxidase และ polyphenol oxidase ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลได้สูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลดสีน้ำตาลของผิวผลกล้วยเมื่อเทียบกับผลกล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่ม (Huang *et al.,* 2013)

ไคโตซาน (chitosan) เป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของกุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นวัสดุชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้บำบัดมนุษย์ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไคโตซานถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1859 โดย Rouget ด้วยการต้มสารไคตินกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งเมื่อละลายในไอโดดีนและกรดจะให้สารสีม่วง ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายเช่น ในด้านการแพทย์ สามารถรักษาแผลและป้องกันการติดเชื้อของแผลได้ดี ในด้านการเกษตรการใช้ไคโตซานกับผลกล้วยหลังการเก็บเกี่ยวได้รับความสนใจมากขึ้นในฐานะไบโอโพลิเมอร์ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีลักษณะไม่เป็นพิษ (Vimala *et al.,* 2011) และมักผสมกับโพลีเมอร์อื่น ๆ เช่นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่เป็นพิษและย่อยสลายได้ ดังนั้นการใช้การเคลือบ Chitosan/ Polyvinyl alcohol (CS/ PVA) เป็นเทคนิคที่ดีปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับผลไม้ประเภทต่างๆ โดย Lóay and Dawood (2017) ทำการศึกษาผลของการต่อต้านการเกิดสีน้ำตาลโดยการใช้ Chitosan/ Polyvinyl alcohol (CS / PVA) ผสมกับกรดออกซาลิกที่ความเข้มข้น 0, 10, 15 และ 20 mM เคลือบบนกล้วยพันธุ์วิลเลียม เพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกโดยผลกล้วยถูกแช่ใน Chitosan/ Polyvinyl alcohol- OA (CS / PVA-OA) ที่แตกต่างกันเป็นเวลา 10 นาทีและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาพบว่า CS / PVA-OA 20mM มีผลต่อการลดกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ peroxidase ที่เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลกล้วยในช่วงการเก็บรักษา การศึกษาวิธีการชะลอการตกกระในกล้วยไข่ โดยทำการแช่ผลกล้วยไข่ในไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.25, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 27±2 องศาเซลเซียส จนหมดสภาพพบว่าไคโตซานที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลกล้วยไข่ได้ดี และสามารถช่วยชะลอการตกกระของกล้วยไข่ได้ในช่วงแรกของการเก็บรักษา (มยุรี กระจายกลาง และสุธิกา สมวรรณ, 2551) และการใช้เอทานอลเพื่อลดการตกกระของกล้วยไข่โดยวิธีการรม และการจุ่มเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 0, 200, 500 และ 1000 ppm และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การรมด้วยไอระเหยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 500 ppm สามารถลดระดับการตกกระของกล้วยไข่ได้ โดยสามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 18 วัน (กฤษณ์ สงวนพวก, 2560)

2.6 น้ำมันหอมระเหยจากพืช (essential oil)

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสามารถผลิตขึ้นเองตามธรรมชาติ เก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช เช่น กลีบดอก ผิว เกสร เปลือกของลำต้น ราก หรือยางที่ออกมาจากเปลือก ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความซับซ้อนและแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช น้ำมันจะมีลักษณะเป็นของเหลวไม่เหนียวเหมือนน้ำมันพืช ไม่มีสีหรือมีสีอ่อนๆ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ระเหยง่ายและสามารถระเหยได้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้อง (กองส่งเสริมพืชสวน, 2542) คุณสมบัติของน้ำมันหอมสามารถฆ่าเชื้อโรค บรรเทาอาการเจ็บปวด อักเสบ หรือลบบวม สามารถบรรเทาความเครียดและกระตุ้นให้สดชื่นได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยชนิดนั้นๆ (Botanicessene, 2016) ตัวอย่างพืชและสารสำคัญ ได้แก่

กะเพรา (holy basil) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ocimum sanctum* จัดอยู่ในวงศ์ Labeataceae น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรามีองค์ประกอบหลายชนิดที่สำคัญ เช่น eugenol, methyl eugenol ocimol boneol camphene linalool และ caryophyllene คิดเป็น 58 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันหอมที่กลั่นจากใบ (Prakash and Gupta, 2005) ซึ่งมีสมบัติที่น่าสนใจเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การต้านเชื้อแบคทีเรีย และการต้านสารก่อ นอกจากนี้ยังนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตร มีการศึกษาเพื่อลดกลิ่นของทุเรียนโดยใช้น้ำมันหอมระเหยจากกะเพรา พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากใบกะเพราสามารถลดกลิ่นของทุเรียนได้ดีกว่าการนำใบกะเพรามาวางคลุมไว้ (ยุวรัตน์ เงินเย็น และคณะ, 2556) น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้มีสีเหลืองใส โดยการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกะเพราในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมมากที่สุดคือการกลั่นด้วยน้ำเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและใช้ในทางอุตสาหกรรม (อานนท์ เขียวคำ และคณะ, 2557)

พลู (betel vine) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Piper betle* อยู่ในวงศ์พริกไทย Piperaceae ใบพลูมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญคือ eugenol, chavibetol acetate, hydroxychavicol, fatty acids (stearic and palmitic) และ hydroxyl fatty acid esters โดยองค์ประกอบเหล่านี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราได้ โดยจะทำลาย Plasma cell membrane ของแบคทีเรีย (ทิฐิมา ภาคภูมิ และคณะ, 2559) นอกจากนี้พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ พืชสมุนไพรในวงศ์นี้มีน้ำมันหอมระเหย ทำให้เกิดกลิ่นเผ็ดฉุนมี pellitorine เป็นสารเคมีที่มีองค์ประกอบซึ่งอยู่ในกลุ่ม dienamides ที่มีสมบัติเป็นสารกำจัดแมลง (สิริรัตน์ พานิช และคณะ, 2564)

การสกัดน้ำมันหอมระเหยทำได้หลายวิธีพิจารณาจากส่วนของพืชที่นำมาสกัด คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหยและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ โดยการสกัดน้ำมันหอมสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การกลั่น (Distillation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างมากเพราะสามารถใช้แยกน้ำมันหอมระเหยได้เกือบทุกชนิด โดยการกลั่นจะต้องควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาเพราะส่งผลต่อคุณสภาพและกลิ่นของน้ำมันหอมระเหย แบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่

1.1 การกลั่นแบบใช้น้ำ (water or Hydro - distillation) เป็นวิธีที่ง่ายและได้รับความนิยมมากที่สุดในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย โดยการนำพืชตัวอย่างแช่ในน้ำแล้วต้มจนน้ำเดือด เซลล์พืชจะแตกออก และน้ำมันหอมระเหยจะแยกลอยตัวขึ้นมา จากนั้นไอน้ำจะเป็นตัวพาน้ำมันวิ่งผ่านท่อจนถึงเครื่องควบแน่น (condenser) เพื่อทำให้เย็นลง (กนกวรรณ ถนอมจิตร, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) เป็นวิธีที่นิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถสลายตัวเมื่อถูกความร้อนโดยตรง โดยการนำพืชตัวอย่างวางบนตะแกรงที่อยู่เหนือหม้อต้มน้ำ ซึ่งไอน้ำเป็นตัวพาน้ำมันหอมระเหยควบแน่นกลับมาเป็นน้ำกับน้ำมันหอมระเหย

1.3. การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) เป็นวิธีที่นำพืชตัวอย่างมาวางบนตะแกรงที่อยู่เหนือหน้ากลั่นให้ผ่านความน้ำจากไอน้ำ โดยไอน้ำเป็นตัวพาน้ำมันหอมระเหยจากพืชระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว

2. การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction) เป็นวิธีที่ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์

3. การบีบหรือการบีบเย็น (expression/cold expression) เป็นวิธีที่ใช้กับพืชตระกูลส้ม ทำโดยบีบเปลือกของผลไม้ทำให้เซลล์ของพืชแตกและปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมา

4. การสกัดโดยใช้ไขมัน (enfleurage) เป็นวิธีที่ใช้กับดอกไม้กลีบบางพวกกุหลาบ มะลิ โดยการนำดอกไม้ตัวอย่างวางทับถาดกระจกที่เกลี่ยด้วยไขมันสัตว์บางๆ เพื่อให้ไขมันดูดซับสารหอมจากดอกไม้

5. การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (super-critical carbon dioxide extraction) เป็นวิธีสกัดน้ำมันหอมระเหยแบบใหม่ โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของเหลวและแก๊สภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง โดยใช้ความดันประมาณ 200 atm ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส (ฐาปนีย์ หงส์รัตนาวรกิจ, 2550)

น้ำมันหอมระเหยยังได้รับการยืนยันถึงสมบัติของการชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักตัดแต่งโดยการศึกษาของ Mousavizadeh and Sedaghathoor (2011) พบว่าน้ำมันหอมระเหยช่วยเพิ่มการป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระของผักที่บริโภคส่วนใบซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการป้องกันการทำงานของ peroxidase น้ำมันหอมระเหยจึงมีความสามารถในการลดการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ได้อย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเคลือบผิวสามารถใช้เพื่อลดการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลของคื่นฉ่าย ผักโขม และผักกาดหอม และการศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากไทม์ ผักชี และโรสแมรี่ ในการลดกิจกรรม peroxidase ของกะหล่ำปลีขาวและกะหล่ำปลีแดงในหลอดทดลอง พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยโรสแมรี่มีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันหอมระเหยจากผักชีและไทม์ในกะหล่ำปลีสีแดงและสีขาว (Mousavizadeh *et al.*, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 อิมัลชัน (Emulsion)

การศึกษาในครั้งนี้ศึกษาการลดการเกิดอาการตกกระในผิวกล้วยไข่โดยใช้น้ำมันหอมระเหย เนื่องจากน้ำกับน้ำมันไม่สามารถผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันจึงต้องเตรียมในรูปอิมัลชัน อิมัลชันคือระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ปกติไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถผสมรวมกันได้โดยไม่เกิดการแยกชั้น โดยของเหลวส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่าวัฏภาคภายในหรือส่วนที่กระจายตัว (internal or dispersed phase) ซึ่งจะกระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่าวัฏภาคภายนอกหรือวัฏภาคต่อเนื่อง (external or continuous phase) (สุภัคชนม์ คล่องดี, 2557) ขนาดของวัฏภาคกระจายตัวอาจมีขนาดที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.05 ไมครอน ถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดของอนุภาคมีผลต่อการกระเจิงของแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การปรากฏลักษณะของอิมัลชันแตกต่างกัน (Mcclements, 2005) ซึ่งการแยกชั้นของน้ำกับน้ำมันสามารถแก้ไขได้โดยใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิว และช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัว (Yamashita *et al.*, 2017) โดยหลักการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์คือโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะจับกับส่วนเนื้อเดียวกันในระบบอิมัลชัน ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (lipophilic) จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและไม่เกิดการแยกชั้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2560)

การเตรียมอิมัลชัน (Emulsification) การเตรียมอิมัลชันสามารถแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ การเตรียมอิมัลชันด้วยพลังงานสูง (mechanical process) และการเตรียมอิมัลชันด้วยพลังงานต่ำ (non-mechanical process) โดยวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมอิมัลชัน ได้แก่ high pressure homogeniser หรือ HPH ภายในเครื่อง HPH เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ทำให้เกิดแรงเฉือน (shear stresses) และเกิดโพรงอากาศ (cavitation) ในตัวอย่าง ส่งผลให้อิมัลชันมีขนาดอนุภาคเล็กลง

ความคงตัวของอิมัลชัน (Stability of emulsion) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอิมัลชัน ประกอบด้วยความคงตัวทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา โดยความคงตัวทางกายภาพหมายถึงอิมัลชันที่ไม่เกิดการตกตะกอน และไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำและน้ำมัน ซึ่งการเลือกอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมส่งผลต่อความคงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน ความคงตัวทางเคมี หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Schubert *et al.*, 2006) ป้องกันได้โดยเติมสารต้านอนุมูลอิสระ และสารที่สามารถปกป้องปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ความร้อน แสง หรือการเตรียมอิมัลชันให้มีขนาดที่เหมาะสม สามารถทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารสำคัญช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยตามวิทยานิพนธ์แบ่งเป็น 4 การทดลอง รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานอย่างสรุปตามภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัยตามวิทยานิพนธ์อย่างสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พืช ได้แก่ กล้วยไข่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 2 จากจังหวัดจันทบุรี

3.1.2 น้ำมันหอมระเหยและสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา และใบพลู สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Tween 20 Tween 40 Tween 60 Tween 85 และ Span 20

3.1.3 สารเคมี ได้แก่ Di-Sodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) sodium dihydrogen phosphate monohydrate ($NaH_2PO_4.H2O$), ascorbic acid, hydrogen peroxide (H_2O_2), guaiacol ($C_7H_8O_2$), polyethylene glycol ($C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$), 1,2-dihydroxybenzene ($C_6H_6O_2$), folin-ciocalteau, DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), trichloroacetic acid (TCA), thiobarbituric acid (TBA), sodium carbonate (Na_2CO_3), sodium hydroxide (NaOH), sodium nitrite ($NaNo_2$), ethanol 99%, ethanol 95% และน้ำกลั่น

3.1.4. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ไมโครปิเปต เครื่องหมุนเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน (Centrifuge) เครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter or EC) เครื่องวัดขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตร และวัดความต่างศักย์บนผิวอนุภาค (ZetaPotential) รุ่น Nano Plus3 บริษัท Micromeritics เครื่องลดขนาดอนุภาคในระดับไมครอน: High Pressure Homogenizer รุ่น M-110P บริษัท Microfluidizer เครื่องวัดสี (Hunter Lab) เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Fruit Pressure Tester) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.5. อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ หลอดวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ แท่งแก้วคนสาร กระบอกตวง ขวดฝาเกลียว หลอดหยด หลอดทดลอง พาราฟิล์ม เครื่องปั่น และกระดาษกรอง

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมพืช

ซื้อกล้วยไข่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 2 จากสวนในจังหวัดจันทบุรี โดยทำการเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยไข่มีอายุ 45 วันหลังตัดปลี มีความสุกแก่ 70-80% มีสีเขียวทั้งหวี และเห็นเหลี่ยมที่ผลชัดเจน (ภาพที่ 3.2) เคลื่อนย้ายมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 กล้วยไข่จากสวนในจังหวัดจันทบุรี

3.2.2 <u>การทดลองที่ 1</u> : การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ต่อระยะการสุก

ทำการศึกษาโดยคัดเลือกกล้วยไข่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน มีสีเขียวทั้งหวีและเห็นเหลี่ยมที่ผลชัดเจน ทำความสะอาดโดยการล้างผลเอาเกสรที่ปลายผลออกให้สะอาด ล้างทำความสะอาดขั้วหวีโดยน้ำสะอาด จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บข้อมูลตามระยะการสุกทั้งหมด 5 ระยะ ได้แก่ ระยะดิบ ระยะห่าม ระยะสุก ระยะสุกงอม และระยะสุกงอมมาก (ภาพที่ 3.3) ทำการทดลองระยะละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หวี โดยการสุ่มกล้วยไข่กลางหวีระยะละ 5 ผล เพื่อเก็บข้อมูลดังนี้

การบันทึกผล

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของกล้วยไข่ต่อระยะการสุก

1.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิว

วัดด้วยเครื่องวัดสี color reader cr-10 plus โดยวัดสีผิวผลกล้วยบริเวณผลทั้ง 2 ด้าน เพื่อเปรียบเทียบสีผิวที่เปลี่ยนไปตั้งแต่ระยะผลดิบ จนผลสุกงอมมาก ซึ่งจะแสดงค่าสี L*, a* และ b* โดยค่า L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 ค่า a* คือ ค่าสีเขียวและสีแดง มีค่าอยู่ระหว่าง -80 - 100 (ค่าบวกหมายถึงความแดง และค่าลบหมายถึงความเขียว) และ ค่า b* คือ สีเหลืองและสีน้ำเงิน มีค่าอยู่ระหว่าง -80 และ 70 (ค่าบวกหมายถึงความเหลือง และค่าลบหมายถึงความน้ำเงิน)

1.2. ศึกษาความแน่นเนื้อของกล้วย

นำผลกล้วยมาปอกเปลือกออกเพื่อนำไปวัดความแน่นเนื้อบริเวณเนื้อของผลกล้วยด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ (fruit hardness tester) กดลงไปบนเนื้อกล้วยจำนวน 3 ครั้งต่อผลใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง หัว กลาง และปลายของผล แปลงค่าความแน่นเนื้อที่ได้จากกิโลกรัมเป็นนิวตัน โดยคูณด้วย 9.807

2. ศึกษาลักษณะทางชีวเคมีภายในผลต่อระยะการสุก

2.1. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids : TSS)

นำเนื้อกล้วยไข่ที่ปอกเปลือกออกมาบดด้วยโกร่งและเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง mini centrifuge ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาตรวจสอบหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทำการวัดด้วยเครื่องวัดความหวานและความเปรี้ยวของผลไม้ pocket brix-acidity meter ปรับค่า 0 ด้วยน้ำกลั่นก่อนใช้ อ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นองศา (°Brix) ปริมาณ TSS = °Brix ที่อ่านได้ x 4 (dilution factor) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

2.2. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity : TA)

นำเนื้อกล้วยไข่ที่ปอกเปลือกออกมาบดด้วยโกร่งและเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:3 จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่อง mini centrifuge ที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาตรวจสอบหาปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ โดยใช้สารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตรปรับปริมาณด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าด้วยเครื่องวัดความหวานและความเปรี้ยวของผลไม้ pocket brix-acidity meter อ่านค่าปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เป็นเปอร์เซ็นต์ TA วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย

2.3. กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD)

การเตรียมสารสกัดเอนไซม์หยาบจากเปลือกกล้วยไข่

สำหรับการวิเคราะห์การเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ นำเปลือกกล้วยไข่ 60 กรัม จากการสุ่มกล้วยไข่ 5 ผลแต่ละกรรมวิธีใส่ลงในสารละลาย 0.5 M sodium phosphate buffer 150 มิลลิลิตร ที่มี PVPP (polyvinylpolypyrrolidone) 4.5 กรัม ปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้ จากนั้นกรองเอากากกล้วยออกนำเอนไซม์หยาบที่ได้ทำการเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อเป็นแหล่งเอนไซม์หยาบโดยนำไปแช่เย็นเพื่อเตรียมทำการทดลองต่อไป

การทดสอบปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในหลอดทดลอง

นำเอนไซม์สกัดหยาบจากเปลือกกล้วยไข่ที่เตรียมไว้มาทำการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลอง โดยการใส่สารสกัด 1 มิลลิลิตรกับซัพสเตรตบัฟเฟอร์ 2.9 มิลลิลิตร (0.5 M sodium phosphate buffer) ที่มี catechol 10 mM ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร บันทึกผลทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 4 นาทีด้วยเครื่อง spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงกลืนแสงมาคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นดังนี้

การบันทึกผลกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase

กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (Units/mLเอนไซม์) = $((AF_{398}-AI_{398})/t)/((0.001)(v))$

กำหนดให้

AF_{398} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 398 nm

AI_{398} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 398 nm

t = เวลา (นาที)

v = ปริมาตร (mL) ของเอนไซม์สกัดหยาบที่ใช้ทำปฏิกิริยาเคมี

0.001 = การเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง 0.001 หน่วยต่อนาที

การทดสอบปฏิกิริยาของเอนไซม์ peroxidase ในหลอดทดลอง

นำเอนไซม์สกัดหยาบจากเปลือกกล้วยไข่ที่เตรียมไว้มาทำการทดสอบกิจกรรมของกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ทำปฏิกิริยาเคมีในหลอด นำส่วนผสมของสารตั้งต้น ประกอบด้วย 4% guaiacol 10 มิลลิลิตร 0.46% H_2O_2 10 มิลลิลิตร และ 0.05 M sodium phosphate buffer (pH 7.0) 100 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองโดยการใส่สารสกัด 1 มิลลิลิตร และส่วนผสมของสารตั้งต้น 2.75 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร และบันทึกผลทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 4 นาทีด้วยเครื่อง spectrophotometer

นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงกลืนแสงมาคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นดังนี้

กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (Units/mLเอนไซม์) = $((AF_{470}-AI_{470})/t)/((0.001)(v))$

กำหนดให้

AF_{470} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 470 nm

AI_{470} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 470 nm

t = เวลา (นาที)

v = ปริมาตร (mL) ของเอนไซม์สกัดหยาบที่ใช้ทำปฏิกิริยาเคมี

0.001 = การเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง 0.001 หน่วยต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะดิบ ระยะห่าม ระยะสุก

ระยะสุกงอม ระยะสุกงอมมาก

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการสุกของกล้วยไข่ในระยะดิบ ระยะห่าม ระยะสุก ระยะสุกงอม และระยะสุกงอมมาก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.2.3 <u>การทดลองที่ 2</u> : การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

2.1 การคัดเลือกสูตรในการเตรียมน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน

เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลู และใบกะเพรา ในรูปอิมัลชันโดยผสมกับสารลดแรงตึงผิว 5 ชนิด ได้แก่ tween 20, tween 40, tween 60, tween 80 และ tween 85 ด้วยอัตราส่วนน้ำมันหอมระเหย 10% ต่อสารลดแรงตึงผิว 5, 10, 15 และ 20% สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยการวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

การบันทึกผล

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

คัดเลือกน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่มีความเสถียร สังเกตจากน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้น ไม่เกิดการตกตะกอน

2. การวัดขนาดและวัดค่าความต่างศักย์บนผิวอนุภาค

นำน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันที่คัดเลือกจากข้อ 1 ได้แก่สูตร น้ำมันหอมระเหยใบพลูกับ tween 80 (10) น้ำมันหอมระเหยใบพลูกับ tween 40 (20) น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ tween

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80 (20) น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ tween 40 (5) มาวัดขนาดอนุภาคและความต่างศักย์อนุภาคด้วยเครื่อง Nano particle analyzer

2.2 ทดสอบความสามารถในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราเจือจางในเอทานอล ที่ความเข้มข้น 0.5,1 และ 2% และเตรียมน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากสูตรน้ำมันหอมระเหยใบพลูกับ tween 40(20) และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ tween 40 (5) ที่ความเข้มข้น 0.5,1 และ 2% เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยที่เจือจางด้วยเอทานอล น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน และ ascorbic acid เป็นสารมาตรฐาน วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทั้งหมด 16 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น (กรรมวิธีควบคุม)
กรรมวิธีที่ 2 ascorbic acid 0.17%
กรรมวิธีที่ 3 เอทานอล 99%
กรรมวิธีที่ 4 สารลดแรงตึงผิว
กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลู (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 0.5%
กรรมวิธีที่ 6 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลู (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 1%
กรรมวิธีที่ 7 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลู (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 2%
กรรมวิธีที่ 8 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 0.5%
กรรมวิธีที่ 9 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 1%
กรรมวิธีที่ 10 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา (ละลายในเอทานอล 99%) ที่ความเข้มข้น 2%
กรรมวิธีที่ 11 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.5%
กรรมวิธีที่ 12 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 1%
กรรมวิธีที่ 13 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 2%
กรรมวิธีที่ 14 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.5%
กรรมวิธีที่ 15 น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 1%
กรรมวิธีที่ 16 น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 2%

การบันทึกผล

การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

1.การเตรียมสารสกัดเอนไซม์หยาบจากเปลือกกล้วยไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ นำเปลือกกล้วยไข่ 60 กรัม จากการสุ่มกล้วยไข่ 5 ผลแต่ละกรรมวิธีใส่ลงในสารละลาย 0.5 M sodium phosphate buffer 150 มิลลิลิตร ที่มี PVPP (polyvinylpolypyrrolidone) 4.5 กรัม ปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้ จากนั้นกรองเอากากกล้วยออกนำเอนไซม์หยาบที่ได้ทำการเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อเป็นแหล่งเอนไซม์หยาบโดยนำไปแช่เย็นเพื่อเตรียมทำการทดลองต่อไป

2. การทดสอบปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในหลอดทดลอง

นำเอนไซม์สกัดหยาบจากเปลือกกล้วยไข่ที่เตรียมไว้มาทำการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำปฏิกิริยาเคมีในหลอดทดลอง โดยการใส่ส่วนผสมของสารตั้งต้น 3 มิลลิลิตร ประกอบด้วย 0.05 M sodium phosphate buffer 120 มิลลิลิตร และ catechol 0.13 กรัม เติมน้ำกลั่น/ascorbic acid/เอทานอล/สารลดแรงตึงผิว/น้ำมันหอมระเหย/น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน 100 ไมโคลิตร และเติมสารละลายส่วนใสของพืชทดลอง 1 มิลลิลิตร เป็นลำดับสุดท้าย ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 398 นาโนเมตร บันทึกผลทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 4 นาทีด้วยเครื่อง spectrophotometer

นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงกลืนแสงมาคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นดังนี้

การบันทึกผลกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase

กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (Units/mLเอนไซม์) = $((AF_{398}-AI_{398})/t)/((0.001)(v))$

กำหนดให้

AF_{398} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 398 nm

AI_{398} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 398 nm

t = เวลา (นาที)

v = ปริมาตร (mL) ของเอนไซม์สกัดหยาบที่ใช้ทำปฏิกิริยาเคมี

0.001 = การเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง 0.001 หน่วยต่อนาที

การทดสอบปฏิกิริยาของเอนไซม์ peroxidase ในหลอดทดลอง

โดยนำส่วนผสมของสารตั้งต้น ประกอบด้วย 4% guaiacol 10 มิลลิลิตร 0.46% H_2O_2 10 มิลลิลิตร และ 0.05 M sodium phosphate buffer (pH 7.0) 100 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาในหลอดทดลองโดยการใส่ส่วนผสมของสารตั้งต้น 3 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น/ascorbic acid/เอทานอล/สารลดแรงตึงผิว/น้ำมันหอมระเหย/น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน และจากนั้นทำการเติมสารละลายส่วนใสของพืชทดลองใส่สารสกัด 1 มิลลิลิตร ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร และบันทึกผลทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 4 นาทีด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้จากการวัดค่าดูดกลืนแสงกลืนแสงมาคำนวณหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นคำนวณดังนี้

กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (Units/mLเอนไซม์) = $((AF_{470}-AI_{470})/t)/((0.001)(v))$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

AF_{470} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 470 nm

Al_{470} = ค่าดูดกลืนแสงเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 470 nm

t = เวลา (นาที)

v = ปริมาตร (mL) ของเอนไซม์สกัดหยาบที่ใช้ทำปฏิกิริยาเคมี

0.001 = การเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง 0.001 หน่วยต่อนาที

3.2.4 <u>การทดลองที่ 3</u> : ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

นำกล้วยไข่ที่มีอายุ 45 วันหลังตัดปลีจากสวนในจังหวัดจันทบุรี มีความสุกแก่ 70-80% มีสีเขียวทั้งหวี เห็นเหลี่ยมที่ผลชัดเจน คัดเลือกกล้วยไข่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทำความสะอาดโดยการล้างผล เอาเกสรกล้วยที่ปลายผลออกให้สะอาด ล้างทำความสะอาดขั้วหวีโดยน้ำสะอาด นำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำกล้วยไข่เป็นหวีมาแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดลองที่ 2 คือ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันและน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 0.002 0.004 และ 0.008% โดยทำการแช่ 5 นาที ผึ่งให้แห้งและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน ทำการทดลอง 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หวี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม (ไม่ทำการจุ่มสาร)

กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.002%

กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.004%

กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.008%

กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.002%

กรรมวิธีที่ 6 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้นระดับที่ 0.004%

กรรมวิธีที่ 7 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้นระดับที่ 0.008%

การบันทึกผล

การประเมินลักษณะภายนอก

1. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

การสูญเสียน้ำของกล้วยไข่ ทำการชั่งน้ำหนักและสังเกตน้ำหนักที่หายไปตั้งแต่กล้วยดิบจนสุก น้ำหนักที่หายไปคือจำนวนน้ำที่หายไปจากผลกล้วย โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังสมการ

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

2. การประเมินการสุกของกล้วย

การเปลี่ยนแปลงการสุกของกล้วย (ภาพที่ 3.4) สังเกตสีผิวของเปลือกกล้วยที่เปลี่ยนไปจากสีเขียวเข้มเป็นสีเหลือง และให้คะแนน (ระดับที่ 1-9) ดังนี้

ระดับที่ 1 เปลือกสีเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระดับที่ 2 เปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวอมเหลือง

ระดับที่ 3 เปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลือง แต่มีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระดับที่ 4 เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระดับที่ 5 เปลือกมีสีเหลืองแต่ปลายยังมีสีเขียว

ระดับที่ 6 เปลือกมีสีเหลืองเต็มผล (ผลสุก)

ระดับที่ 7 เปลือกมีสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาล

ระดับที่ 8 เปลือกมีสีเหลืองและมีจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (สุกงอม)

ระดับที่ 9 เปลือกมีสีดำเกือบทั้งผล ผลเริ่มเน่าและหลุดร่วง (สุกงอมมาก)

3. การประเมินการเกิดอาการตกกระของเปลือกผลกล้วยไข่

โดยระดับความรุนแรงของการตกกระ แบ่งเป็นระดับคะแนน ตามความรุนแรงจากน้อยไปมาก 8 คะแนน ดังนี้ (ภาพที่ 3.5)

1 คะแนน เปลือกผลไม่มีการตกกระ

2 คะแนน เปลือกผลเริ่มเกิดการตกกระ จุดกระขนาดเล็กเท่าปลายเข็มหมุด

3 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระ จุดกระขนาดเล็กกระจายทั่วผล

4 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระ จุดกระเริ่มขยายขนาดใหญ่ขึ้น

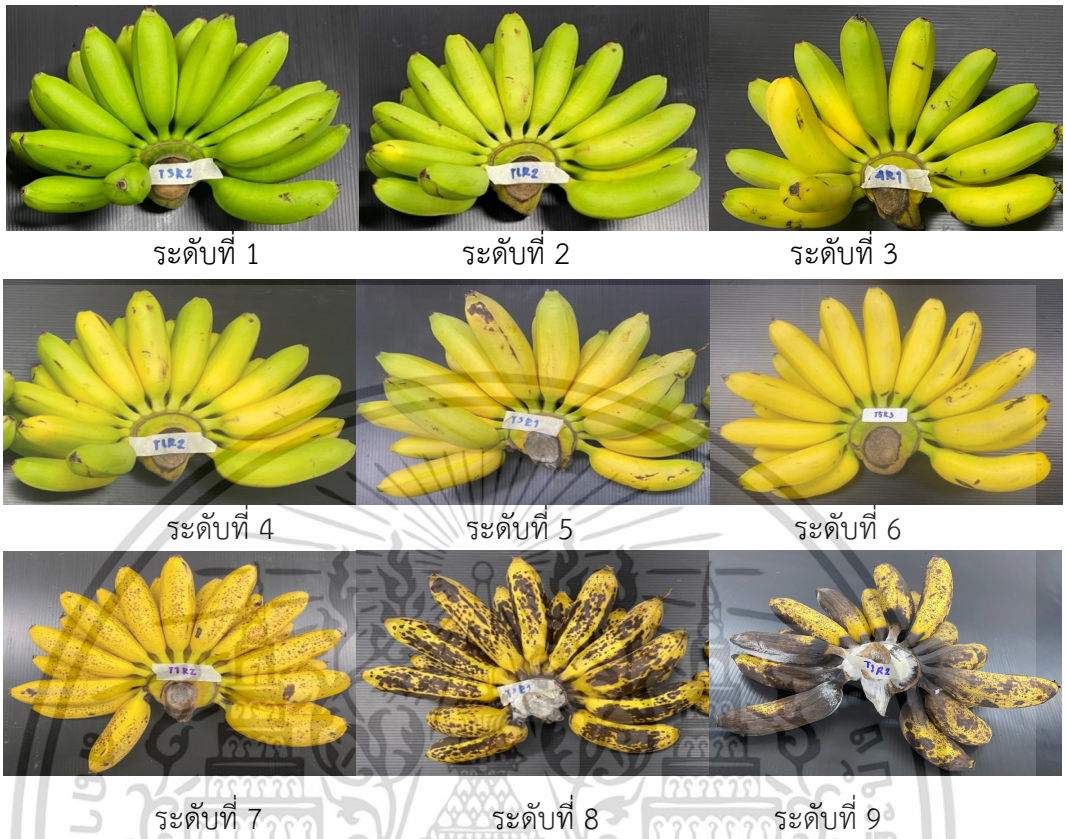
5 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระ จุดกระขนาดใหญ่กระจายทั่วผล

6 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระ จุดกระขนาดใหญ่เริ่มเชื่อมติดกัน

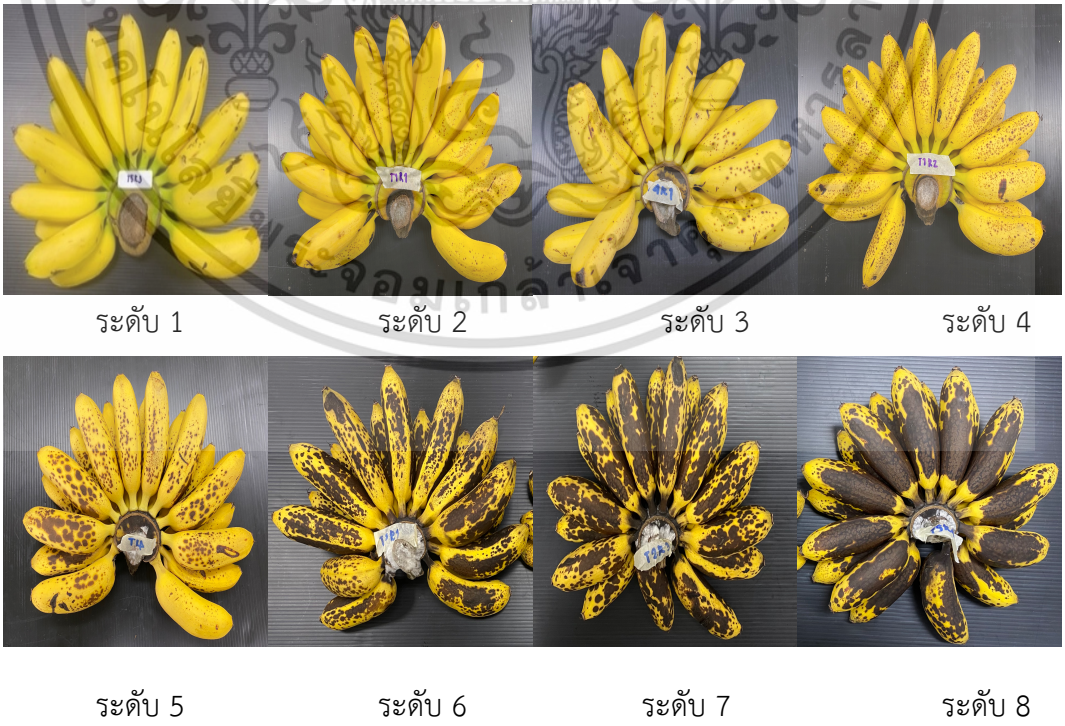
7 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระ จุดกระเชื่อมติดกันใหญ่ขึ้น

8 คะแนน เปลือกผลเกิดการตกกระรุนแรง จุดกระเชื่อมติดกันขนาดใหญ่เกือบทั้งผล และมีรอยบุ๋มเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 เกณฑ์ระดับคะแนนการประเมินการสุกของกล้วยไข่



ภาพที่ 3.5 เกณฑ์ระดับคะแนนการประเมินความรุนแรงของการตกกระของเปลือกกล้วยไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 <u>การทดลองที่ 4</u> : ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชในรูปอิมัลชันในการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

นำกล้วยไข่ที่มีอายุ 45 วันหลังตัดปลีจากสวนในจังหวัดจันทบุรี มีความสุกแก่ 70-80% มีสีเขียวทั้งหวี เห็นเหลี่ยมที่ผลชัดเจน คัดเลือกกล้วยไข่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทำความสะอาดโดยการล้างผล เอาเกสรกล้วยที่ปลายผลออกให้สะอาด ล้างทำความสะอาดขั้วหวีโดยน้ำสะอาด จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และทำการแช่กล้วยไข่ด้วยเอทิฟอน เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำกล้วยไข่ทั้งหวีมาแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เป็นเวลา 5 นาที ทำการผึ่งให้แห้ง และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน ทำการทดลอง 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 หวี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม (ไม่ทำการจุ่มสาร)
กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.004%
กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.008%
กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.004%
กรรมวิธีที่ 5 น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันความเข้มข้น 0.008%
การบันทึกผล

4.1 การประเมินลักษณะภายนอก

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด
ทำการบันทึกผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 ข้อที่ 1
4.1.2 ประเมินการสุกของกล้วยไข่
ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 ข้อที่ 2
4.1.3 การเกิดอาการตกกระของกล้วยไข่
ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 ข้อที่ 3
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงสีผิว
ทำการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 1.1
4.1.5 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล

หลังจากเก็บรักษากล้วยไข่เป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน วัดสีของเปลือกกล้วยไข่ตามการทดลองที่ 1 ข้อ 1.1 คำนวณดัชนีการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้ค่า L* a* b* ที่วัดได้มาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสี (Pathare *et al.,* 2013) คำนวณตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI) = [100 (X – 0.31)] / 0.17

X = (a + 1.75L*) / (5.645L* + a* + -3.012b*)

สูตรการคำนวณค่าความแตกต่างของสี

ΔE: = [(Δ L *) 2 + (Δ a *) 2 +(Δ b *) 2] 1/2

4.2 การประเมินทางเคมีภายในผลกล้วยไข่

4.2.1 การเกิดกิจกรรมเคมีภายในของกล้วยไข่

เนื้อกล้วยไข่

1. ความแน่นเนื้อของผลกล้วย

ทำการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 1.2

2. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity : TA)

ทำการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 2.1

3. การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids : TSS)

ทำการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 2.2

4. ปริมาณวิตามินซี

ชั่งเปลือกกล้วย 5 กรัม บดใน 3% metaphosphoric acid 5 มิลลิลิตร ทำการหมุนเหวี่ยงที่ 2000 g ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเก็บสารละลายส่วนใสใส่หลอดที่เตรียมไว้ ทำการทดลองปฏิกิริยาในหลอดทดลองโดยการเติม สารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร EDTA in oxalic acid 9 มิลลิลิตร acetic acid - metaphosphoric acid 1 มิลลิลิตร H_2SO_4 2 มิลลิลิตร และ ammonium molybdate 4 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที ทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 705 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

เปลือกกล้วยไข่

1. การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์

เตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วยไข่จำนวน 0.5 กรัม แช่ใน acetone 80% ปริมาณ 5 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างในที่มืดเป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมากรองสารละลายส่วนใสมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 470, 647 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

2. การวัดเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

ทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อที่ 2.3

3. การวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Leakage; EL)

ตัดชิ้นส่วนของเปลือกกล้วยให้มีขนาดเท่ากันจำนวน 10 ชิ้น และชั่งน้ำหนัก จำนวน 2 ชุด จากนั้นใส่น้ำ 5 มิลลิลิตรในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร และใส่เปลือกกล้วยที่ชั่งน้ำหนักลงไปในหลอดทดลอง โดยชุดที่ 1 (C_1) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2 (C_2) นำมาต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมากรองกากออกและวัดค่าการรั่วไหลของประจุด้วยเครื่อง EC meter คำนวณปริมาณ Electrolyte leakage จากสูตร

Electrolyte leakage (%) = $(C_1/C_2) \times 100$

4. การวัดปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์

ใช้เปลือกกล้วย 2 กรัม จากการสุ่ม 10 ผล มาบดใน 0.1% trichloroacetic Acid จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10000 rpm เป็นเวลา 20 นาที นำตัวอย่างส่วนใส 1 มิลลิลิตรมาทำปฏิกิริยากับกรด 0.5% 2-thiobarbituric 2 มิลลิลิตร ที่ละลายใน trichloroacetic Acid 20% ทำการต้มที่ 100 องศาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตรตามลำดับ

คำนวณดังสมการ MDA = $(A_{532} - A_{600}) \times 10^6 / 155000$

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก

เตรียมตัวอย่างเปลือกกล้วยไข่จำนวน 4 กรัม จากการสุ่มกล้วยไข่ 5 ผล สกัดในเอทานอล 95% 40 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดเป็นเวลา 3 วันที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองสารละลายส่วนใสมาใช้ โดยใช้สารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 4.5 มิลลิลิตร และ Folin – Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 95% 4 มิลลิลิตร ส่วนผสมถูกผสมจนเข้ากันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย gallic acid ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg of gallic acid equivalent / g extract)

6. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavening assay

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยเตรียมสารละลาย DPPH โดยหลีกเลี่ยงการถูกแสงแดด จากนั้นดูดตัวอย่างสารสกัดเปลือกกล้วยไข่ 1.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย DPPH 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเก็บไว้ในที่มืด 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ยับยั้งอนุมูล DPPH คำนวณดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ } (\%) = \frac{(A - B) - (C - D)}{(A - B)} \times 100$$

A = ค่าดูดกลืนแสงของอนุมูล DPPH ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

B = ค่าดูดกลืนแสงของเอทานอล 95 %

C = ค่าดูดกลืนแสงของอนุมูล DPPH ที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

D = ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดในเอทานอล 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 <u>การทดลองที่ 1</u> การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ระหว่างการสุก

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีผิว

กล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวในระยะสุกแก่เต็มที่และปล่อยให้มีพัฒนาการสุกตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสีผิวเป็นค่าสี (CIE L* a* b*) ของเปลือกกล้วยไข่และค่า ΔE ระหว่างการเก็บรักษา ผลการศึกษาพบว่าสำหรับค่าความสว่าง (ค่า L*) เพิ่มขึ้นจากระยะดิบไปยังระยะสุก จากนั้นลดลงในระยะสุกงอม และลงลงอย่างรวดเร็วในระยะสุกงอมมาก ค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นอย่างมากในระหว่างพัฒนาการสุก และค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากระยะดิบถึงสุกงอมและลดลงที่ระยะสุกงอมมาก ค่า ΔE เพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยไข่เริ่มพัฒนาการสุก สีเปลือกของกล้วยไข่เป็นสีเขียวในระยะดิบ สีเหลืองเริ่มปรากฏขึ้นระหว่างระยะห่ามจนถึงระยะสุก และจุดสีน้ำตาลเริ่มปรากฏบนเปลือกกล้วยไข่ในระยะห่าม

4.1.2 ความแน่นเนื้อ การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids : TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity : TA)

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (ภาพที่ 4.1) ผลการศึกษาพบว่าความแน่นเนื้อของผลกล้วยไข่ลดลงจากระยะดิบไประยะสุกงอมมาก จาก 7 นิวตันเป็น 0.2 นิวตัน (ภาพที่ 4.1 ก) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของกล้วยไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามพัฒนาการสุก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลกล้วยไข่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการสุก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 3.76 องศาบริกซ์ ในระยะดิบเป็น 26.88 องศาบริกซ์ ในระยะสุกงอมมาก ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดในผลกล้วยไข่ที่ระยะสุกงอมและสุกงอมมาก (ภาพที่ 4.1ข) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้แสดงในภาพที่ 4.1 ค พบว่าในเนื้อกล้วยไข่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้สูงในระยะดิบและลดลงเล็กน้อยในช่วงระยะพัฒนาการสุก ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณกรดที่ไตเตรทได้จะคงอยู่ในระดับสูงในระหว่างพัฒนาการสุก

4.1.3 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

การเกิดกิจกรรม polyphenol oxidase ของกล้วยไข่ต่ำสุดที่ระยะดิบมีค่ากิจกรรมเท่ากับ 3.38±1.15 ยูนิตต่อมิลลิลิตร กิจกรรมของกล้วยไข่ในระยะห่ามเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากระยะดิบและรักษาระดับกิจกรรม polyphenol oxidase ค่อนข้างคงที่เมื่อกล้วยไข่เปลี่ยนจากระยะสุกเป็นสุกงอมและรักษาระดับกิจกรรม polyphenol oxidase ที่สูงกว่าระยะดิบอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) และกล้วยไข่ระยะดิบพบกิจกรรม peroxidase ต่ำที่สุด มีค่ากิจกรรมเท่ากับ 7.58±1.15 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ซึ่งการเกิดกิจกรรม peroxidase เพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยไข่เริ่มสุก โดยเฉพาะในระยะห่ามและระยะสุกจากนั้นจะลดลงในระยะสุกงอมและเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในระยะสุกงอมมาก (ภาพที่ 4.2 ข)

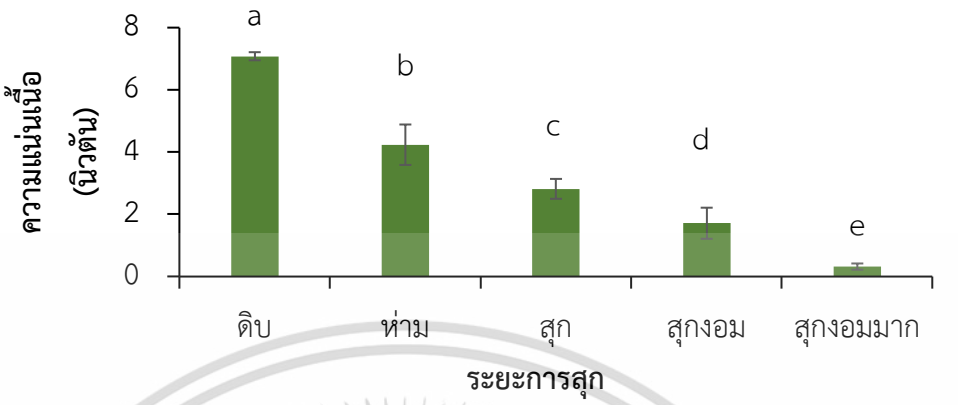
ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าสี (*CIE L* a* b**) และความแตกต่างของสี *(ΔE)* ในผลกล้วยกล้วยไข่ระหว่างการสุก

ระยะการสุก	*L**[1]	*a**	*b**	*ΔE*
ระยะดิบ	62.31±3.91 c[2]	-11.70±0.66 d	43.50±0.40 b	0.00±0.00 c
ระยะห่าม	81.34±2.66 a	3.84±1.60 c	52.00±2.86 a	26.10±3.35 b
ระยะสุก	81.70±3.50 a	11.70±1.79 b	52.52±2.86 a	31.80±3.73 b
ระยะสุกงอม	70.43±1.40 b	15.73±2.33 a	52.40±4.86 a	30.26±3.03 b
ระยะสุกงอมมาก	30.30±6.69 d	8.60±1.36 b	14.42±4.10 c	48.04±5.70 a

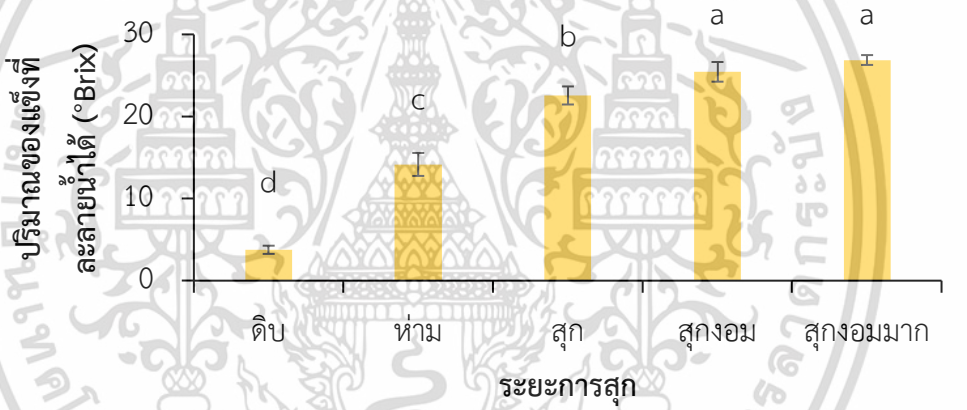
L*, ความสว่าง; a*, สีแดง; b* , สีเหลือง; *ΔE*, ความแตกต่างของสี a-d หมายถึงในคอลัมน์ที่มีอักษรตัวเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธีของ Tukey's studentized range test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

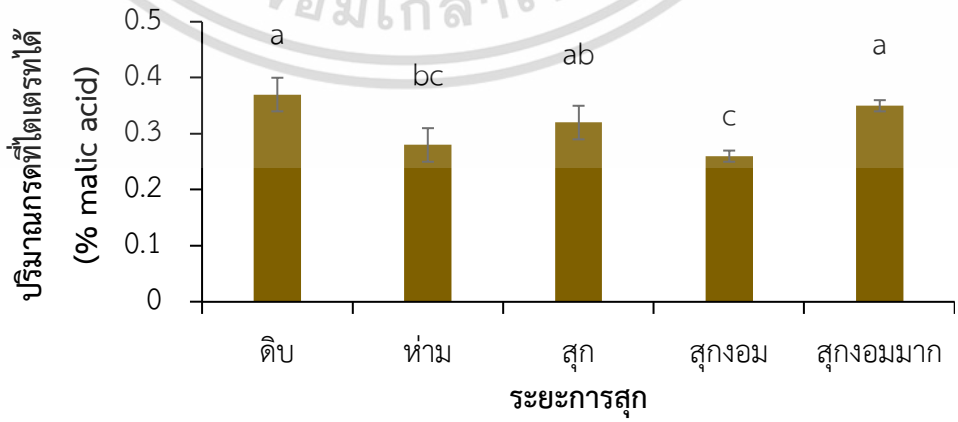
ก



ข



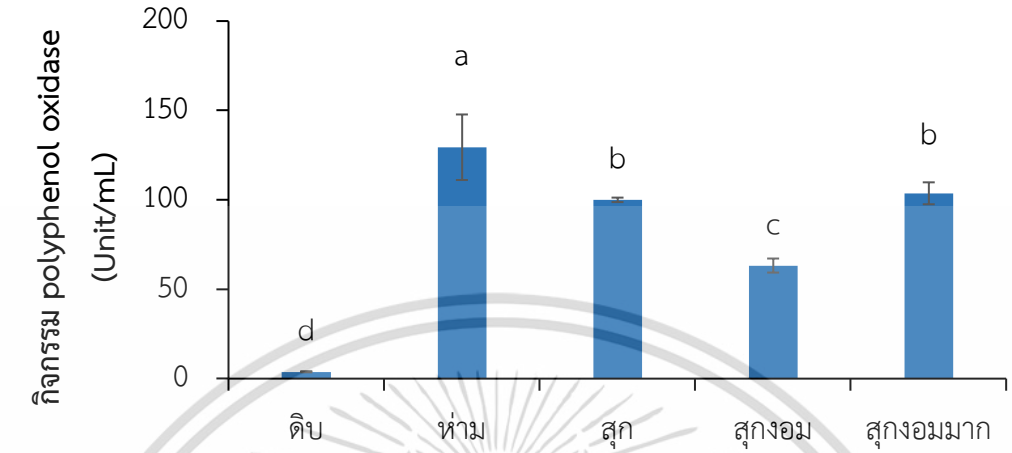
ค



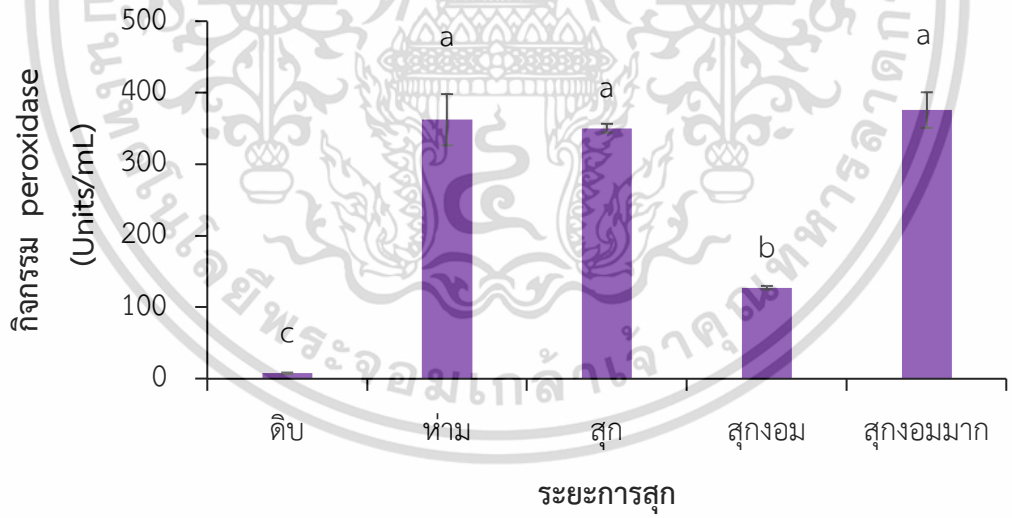
ภาพที่ 4.1 แสดงความแน่นเนื้อ (ก) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) (ข) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) (ค) ในผลกล้วยไข่ระหว่างการสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก



ข



ภาพที่ 4.2 กิจกรรมของ polyphenol oxidase (PPO) (ก) และperoxidase (POD) (ข) ในผลกล้วยไข่ระหว่างสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 **การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase**

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

จากการทดลองเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลู และใบกะเพราในรูปอิมัลชันโดยผสมกับสารลดแรงตึงผิว 5 ชนิด ได้แก่ tween 20 tween 40 tween 60 tween 80 และ tween 85 ด้วยอัตราส่วนน้ำมันหอมระเหย10% ต่อสารลดแรงตึงผิว 5, 10, 15 และ 20% สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 จากการประเมินทางกายภาพพบว่าอิมัลชันที่มีความคงตัวดี ไม่เกิดการแยกชั้นและไม่เกิดวงแหวนสีเหลืองมีทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 40 (20%), Tween 80 (10%) น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรากับ Tween 40 (5%) และ Tween 80 (20%) อิมัลชันที่เกิดการแยกชั้นมีทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 85 (20%) น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรากับ Tween 40 (20%), Tween 60 (15%), Tween 60 (20%) และ Tween 85 (20%) อิมัลชันที่เกิดการตกตะกอนมีทั้งหมด 26 สูตร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 20 (5%), Tween 20 (15%), Tween 20 (20%), Tween 40 (10%), Tween 40 (15%), Tween 60 (15%), Tween 60 (20%), Tween 85 (5%), Tween 85 (10%) ,Tween 85 (15%) , น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรากับ Tween 20 (15%), Tween 20 (20%), Tween 40 (10%), Tween 40 (15%), Tween 60 (5%), Tween 60 (10%), Tween 80 (5%), Tween 80 (10%), Tween 80 (15%), Tween 85 (5%), Tween 85 (10%) และ Tween 85 (15%) อิมัลชันที่เกิดวงแหวนสีเหลืองมีทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 20 (10%), Tween 40 (5%), Tween 60 (5%), น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรากับ Tween 20 (5%) และ Tween 20 (10%)

4.2.2 ขนาดอนุภาคน้ำมันและค่า zeta potential

จากการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราด้วยสารลดแรงตึงผิวในรูปอิมลัชันและคัดเลือกระบบอิมัลชันที่มีความเสถียรได้จำนวน 4 สูตร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 40 (20%), Tween 80 (10%), น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ Tween 40 (5%), Tween 80 (20%) นำไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer มีค่าเท่ากับ 143.00, 145.50, 156.00 และ 93.50 นาโนเมตร ตามลำดับ และวัดค่าความเสถียรได้เท่ากับ -10.56, -3.14, -19.33 และ -5.25 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) และพบว่าการเตรียมน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากใบกะเพรากับ Tween 40 (5%) เป็นระบบอิมัลชันที่มีความเสถียรมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากใบพลูกับ Tween 40 (20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ความสามารถในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

ทำการเตรียมน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากสูตรน้ำมันหอมระเหยใบพลูกับ tween 40 (20%) และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ tween 40 (5%) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ในหลอดทดลองกับน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ (ละลายในเอทานอล 99%) เอทานอล 99% สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันหอมระเหย และ ascorbic acid ผลการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase พบว่า ascorbic acid 0.17% สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ได้แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม และเอทานอล 99% ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในขณะที่สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เตรียมอิมัลชันมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ลดลงและแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม น้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic acid 0.17% และน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic acid 0.17% แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ของน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชัน และน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic acid 0.17% ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic acid 0.17% เช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 1% มีฤทธิ์ต้านกิจกรรมเอนไซม์ polyphenol oxidase มากกว่าน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราบริสุทธิ์ทางสถิติ แต่น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ดีที่สุด (ภาพที่ 4.3 ก) เมื่อศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase พบว่า ascorbic acid 0.17% สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ได้แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม และเอทานอล 99% มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ลดลงและแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุมในขณะที่สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เตรียมอิมัลชันไม่มีผลกับกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase น้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acid 0.17% และน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและ ascorbic acid 0.17% แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ของน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชัน และน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า น้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase มากกว่าน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ทางสถิติ และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันและน้ำมันหอมระเหยกะเพราบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase มากกว่ากรรมวิธีควบคุมและใกล้เคียงกับ ascorbic acid 0.17% แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ของน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าไม่แตกต่างกัน และน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 2% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ดีที่สุด (ภาพที่ 4.3 ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

น้ำมันหอมระเหย :	ความเข้มข้น (%)			
สารลดแรงตึงผิว	5	10	15	20
น้ำมันหอมระเหยใบพลู: Tween 20	ตกตะกอน	วงแหวนสีเหลือง	ตกตะกอน	ตกตะกอน
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 40	วงแหวนสีเหลือง	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ขาวขุ่น (นำไปวัดขนาด)
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 60	วงแหวนสีเหลือง	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ตกตะกอน
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 80	ตกตะกอน	ขาวขุ่น (นำไปวัดขนาด)	ตกตะกอน	ตกตะกอน
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 85	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ตกตะกอน	แยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

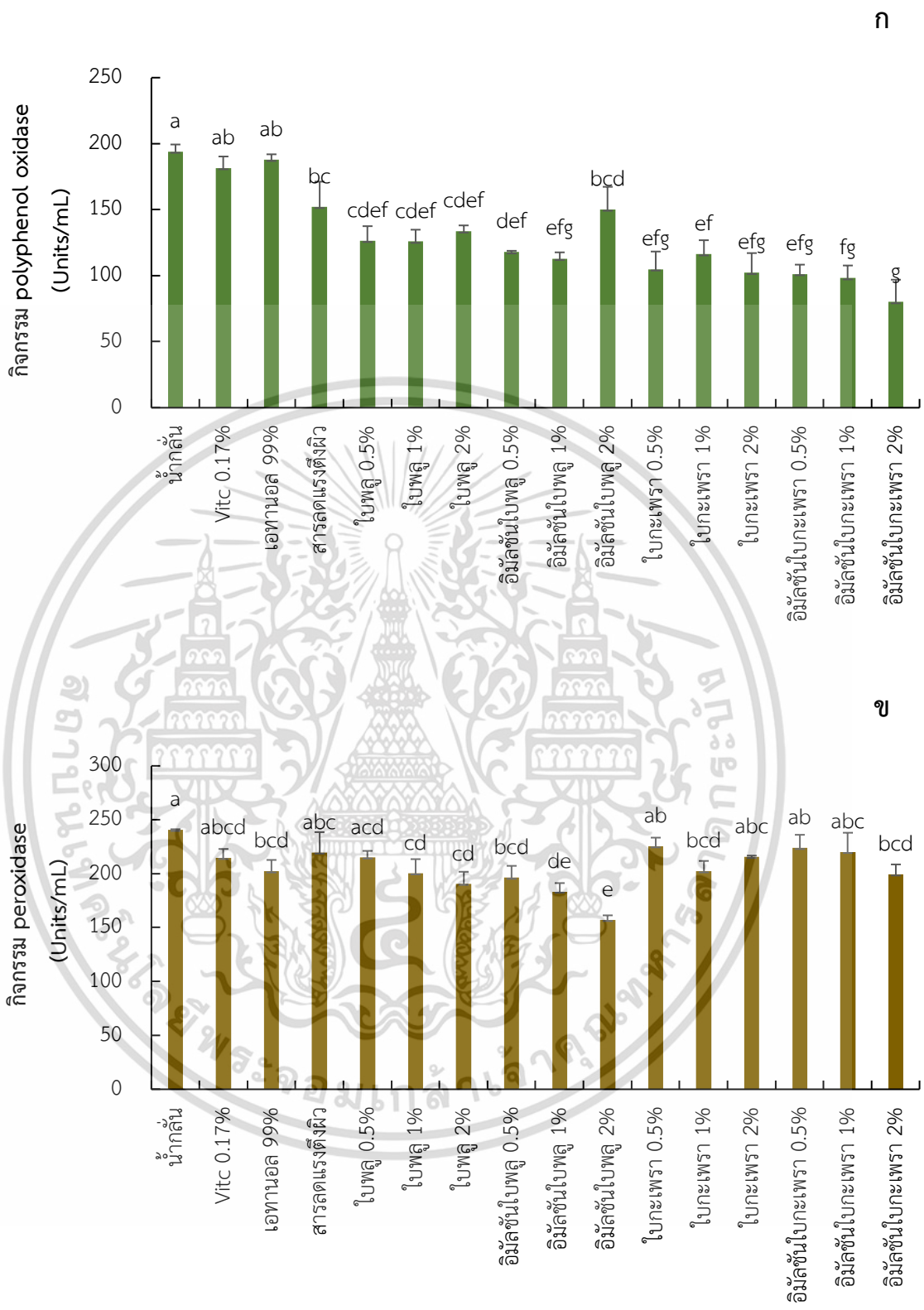
ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

น้ำมันหอมระเหย : สารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้น (%)			
	5	10	15	20
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 20	วงแหวนสีเหลือง	วงแหวนสีเหลือง	ตกตะกอน	ตกตะกอน
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 40	ขาวขุ่น (นำไปวัดขนาด)	ตกตะกอน	ตกตะกอน	แยกชั้น
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 60	ตกตะกอน	ตกตะกอน	แยกชั้น	แยกชั้น
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 80	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ขาวขุ่น (นำไปวัดขนาด)
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 85	ตกตะกอน	ตกตะกอน	ตกตะกอน	แยกชั้น

ตารางที่ 4.4 ขนาดของอนุภาคและค่าความเสถียรของน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันจากใบพลูและใบกะเพรา

อัตราส่วนน้ำมันหอม : สารลดแรงตึงผิว	ขนาด (นาโนเมตร)	ความเสถียร (มิลลิโวลต์)
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 40 (20)	143.00	-10.56
น้ำมันหอมระเหยใบพลู : Tween 80 (10)	145.5	-3.14
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 40 (5)	156.00	-19.53
น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา : Tween 40 (20)	93.5	-5.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ความสามารถในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (ก) และ peroxidase (ข) ของน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

จากการศึกษาโดยนำกล้วยไข่ที่มีความแก่ 70-80% ที่สวนจังหวัดจันทบุรี มีสีเขียวทั้งหวี เห็นเหลี่ยมที่ผลชัดเจน คัดเลือกที่มีขนาดมใกล้เคียงกันมาทำความสะอาดและนำมาแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 0.002 0.004 และ 0.008% เป็นเวลา 5 นาที ผึ่งให้แห้งและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาดังนี้

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ พบว่า ทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติจนถึงวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002% ทางสถิติ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูความเข้มข้น 0.004, 0.008% น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราความเข้มข้น 0.008% และน้ำมันหอมระเหยใบพลูความเข้มข้น 0.002% ตามลำดับ และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002% เกิดการเสื่อมสภาพไม่สามารถบันทึกผลได้ (ภาพที่ 4.4)

4.3.2 ประเมินการสุกของกล้วยไข่

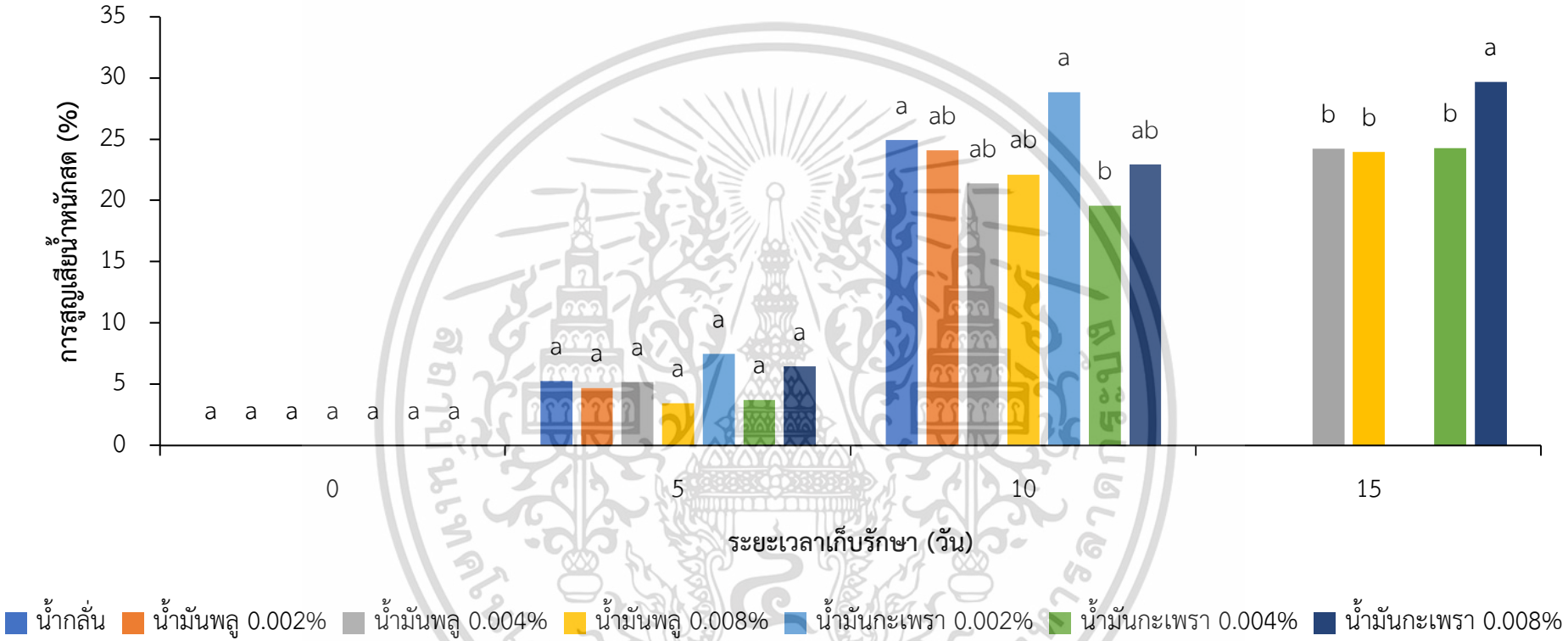
กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยและชุดควบคุมพบการพัฒนาการสุกตั้งแต่ระยะผลดิบจะกระทั่งสุกไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.5) โดยวันที่ 5 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีเปลือกสีเขียว ผลแข็ง และไม่มีการสุก ยกเว้นกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002% เปลือกของกล้วยไข่เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลือง แต่ยังคงมีสีเขียวมากกว่า (3 คะแนน) วันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีผลสุกมีเปลือกสีเหลืองและพบจุดกระเล็กน้อย (6 คะแนน) และวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีผลสุกงอม เกิดจุดตกกระสีน้ำตาลขนาดใหญ่ กล้วยเริ่มเสื่อมสภาพและส่งกลิ่นเหม็น (8 คะแนน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

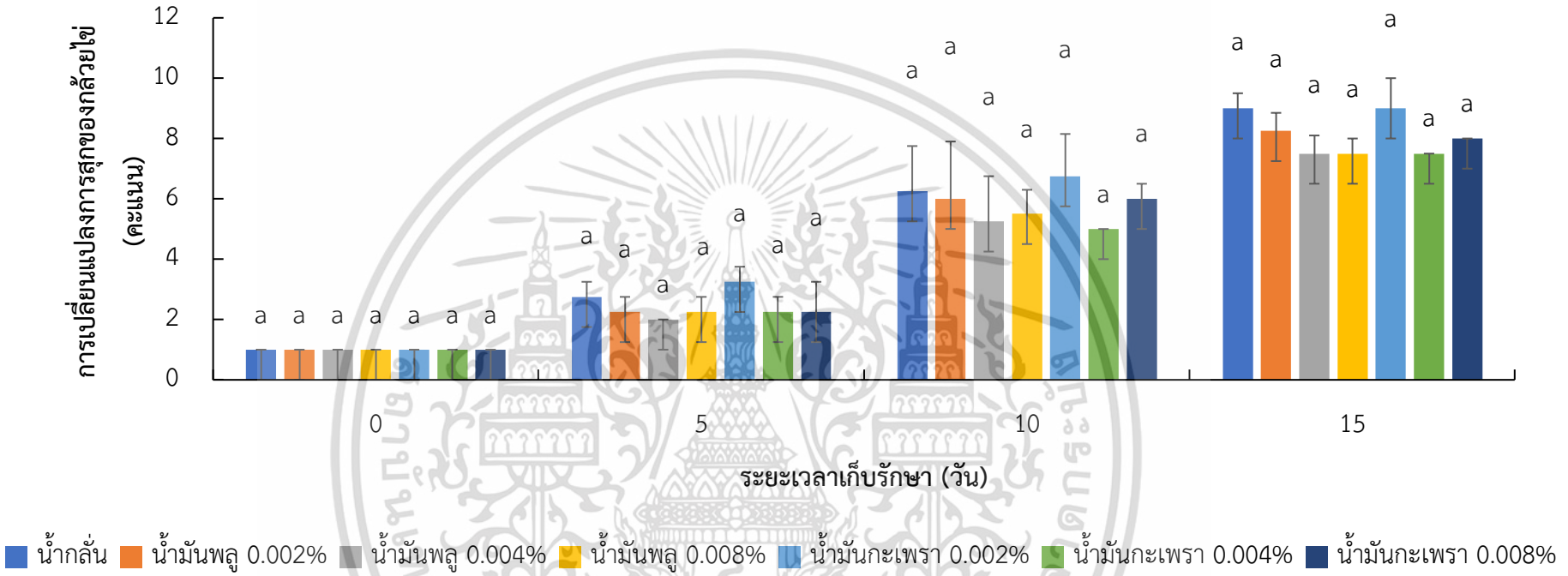
4.3.3 ประเมินการเกิดอาการตกกระ

กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีแสดงจุดตกกระในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7) โดยกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002% พบจุดตกกระกระจายทั่วผล (3 คะแนน) และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002% และกรรมวิธีควบคุม แสดงจุดตกกระของเปลือกกล้วยไข่ที่มีขนาดใหญ่และเริ่มเชื่อมกัน (6 คะแนน) และในวันที่ 10 และ 15 ของการเก็บรักษา พบว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% พบการตกกระน้อยที่สุด รองลงมา คือ น้ำมันหอมระเหยจากพลูความเข้มข้น 0.004, 0.008 และ น้ำมันหอมระเหยจากกะเพราความเข้มข้น 0.008% ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม

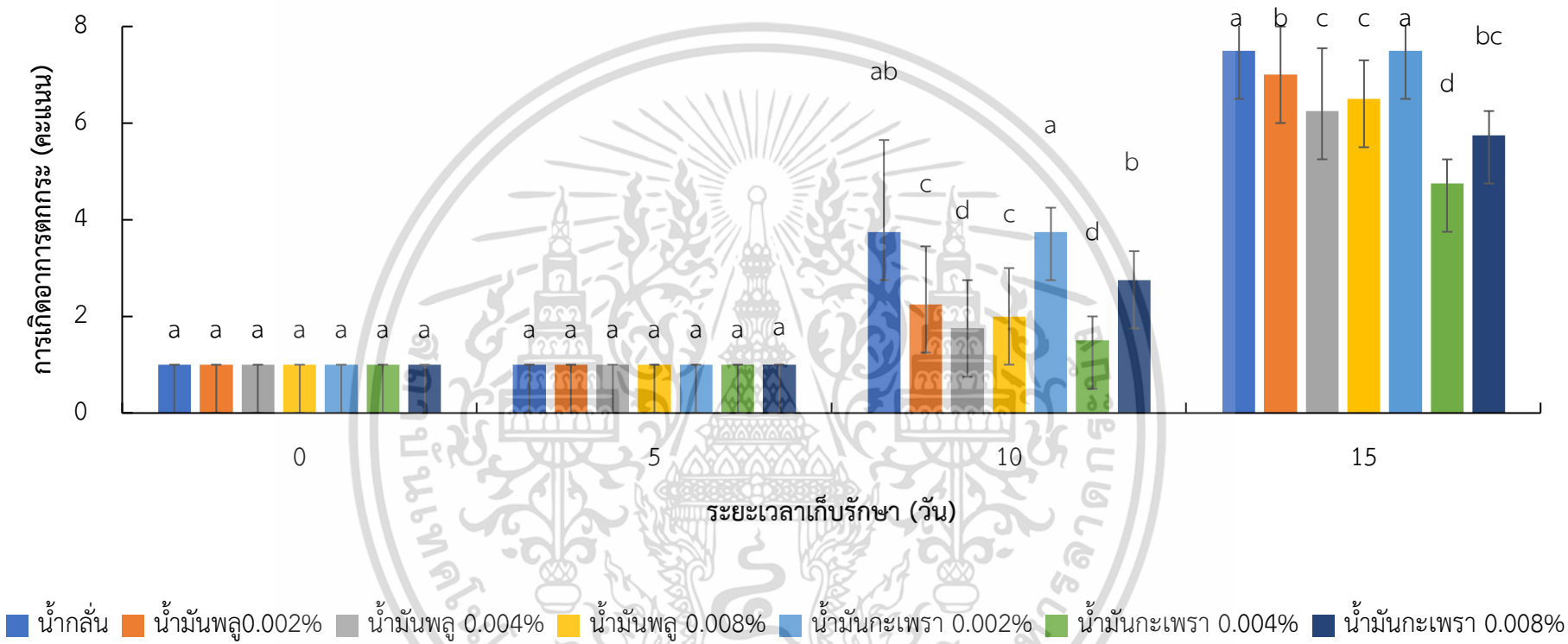
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



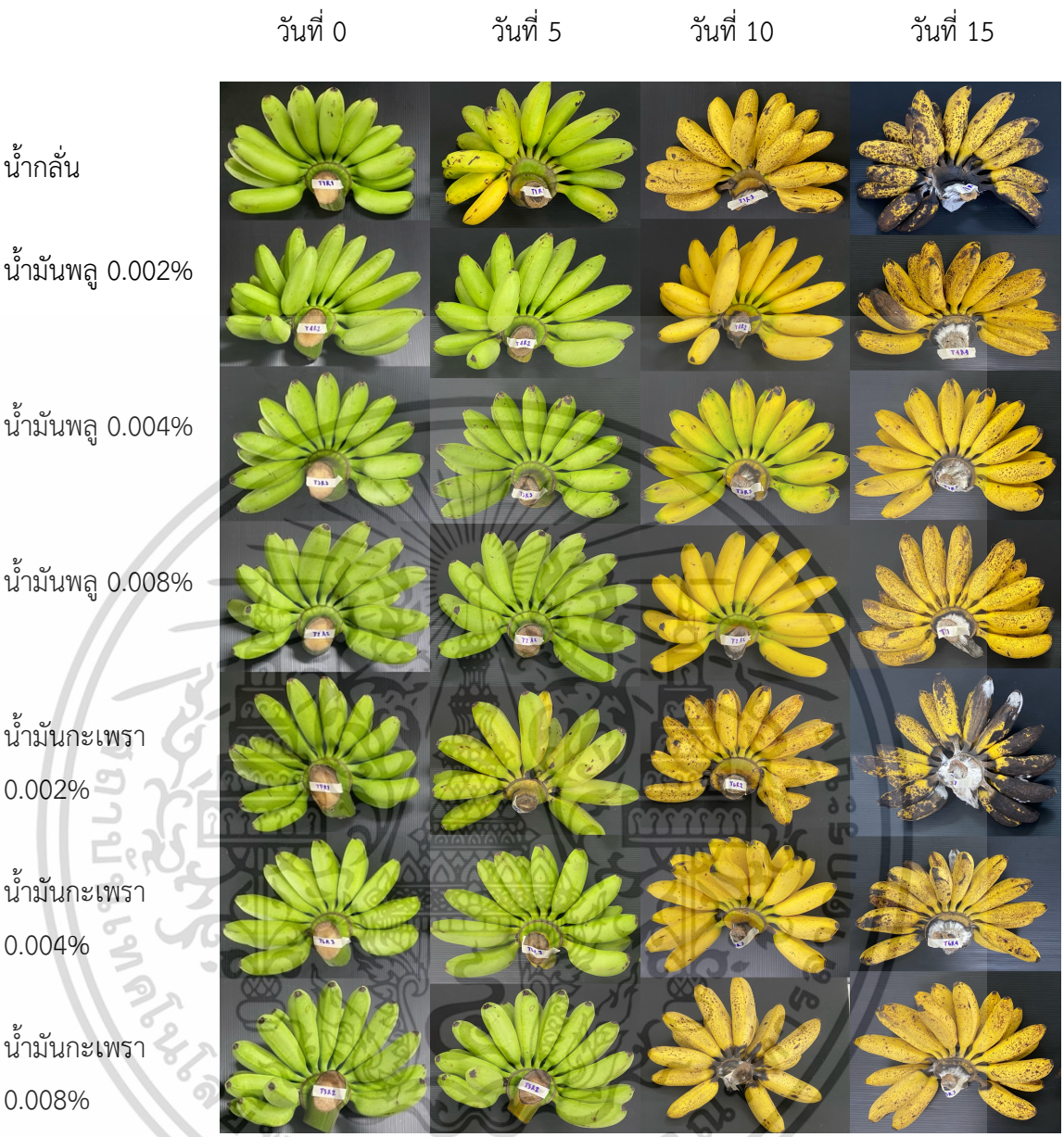
ภาพที่ 4.4 การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4.5 ประเมินการสุกของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4.6 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002 0.004 และ 0.008% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงการสุกและการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

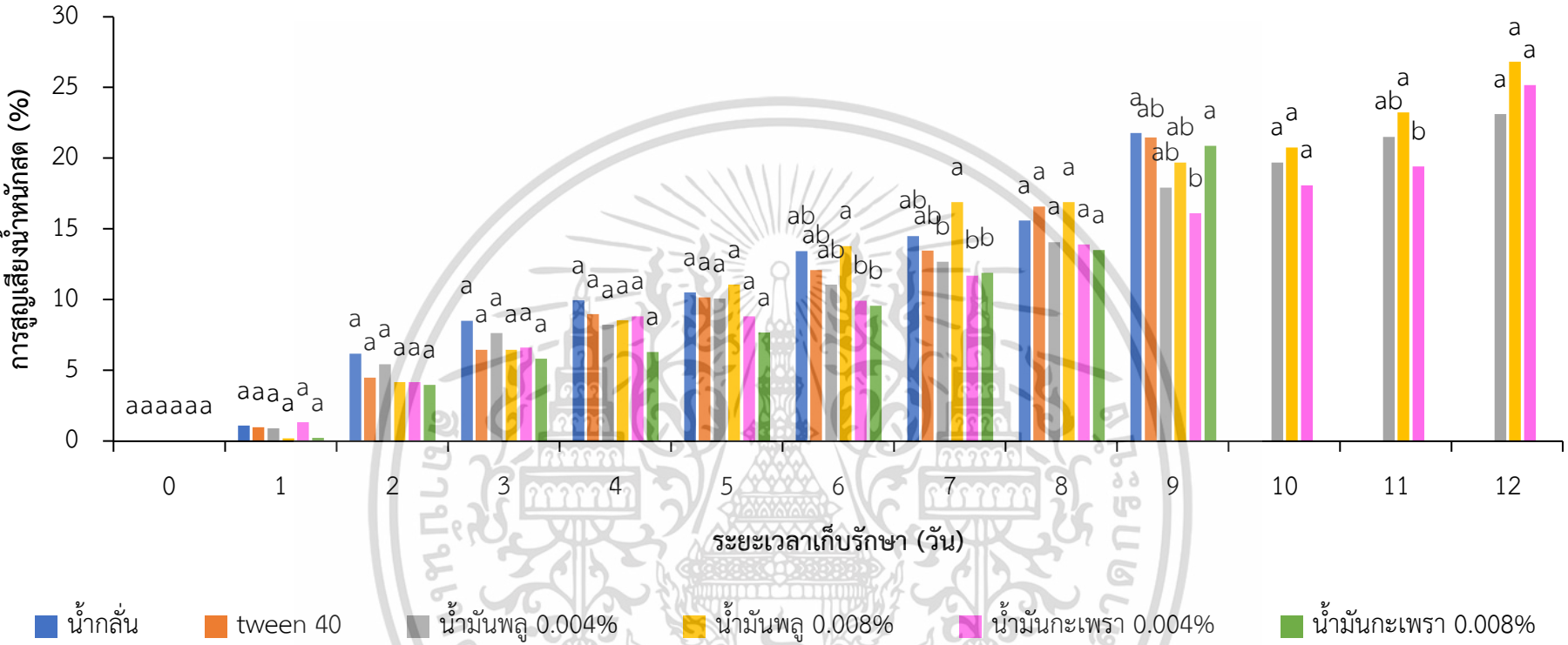
4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชในรูปอิมัลชันในการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

การศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่ในการทดลองที่ 3 เบื้องต้น พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและน้ำมันมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% ให้ผลดี (ภาพที่ 4.7 และ 4.8) ในการทดลองนี้จึงนำกล้วยไข่มาแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลู และน้ำมันมันหอมระเหยกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นผึ่งให้แห้งและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 วัน ผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของกล้วยไข่ พบว่า ทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติจนถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% ทางสถิติ และในวันที่ 10 ถึง 12 วันของการเก็บรักษา กรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีที่แช่ด้วย tween 40 และกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% เกิดการเสื่อมสภาพไม่สามารถบันทึกผลได้ (ภาพที่ 4.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

4.4.2 ประเมินการสุกของกล้วยไข่

กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยและชุดควบคุมพบการพัฒนาการสุกตั้งแต่ระยะผลดิบจะกระทั่งสุกไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.9 และ 4.10) เริ่มต้นในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีเปลือกสีเขียว ผลแข็ง และไม่พบการสุก (1 คะแนน) วันที่ 2 ของการเก็บรักษากล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวอมเหลือง (2 คะแนน) วันที่ 3 ของการเก็บรักษา เปลือกกล้วยไข่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง แต่มีสีเขียวมากกว่า (3 คะแนน) วันที่ 4 ของการเก็บรักษา เปลือกกล้วยไข่มีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว (4 คะแนน) วันที่ 5 ของการเก็บรักษา เปลือกกล้วยไข่มีสีเหลืองแต่ปลายผลยังมีสีเขียว (5 คะแนน) วันที่ 6 ของการเก็บรักษา ผลกล้วยไข่เริ่มสุก เปลือกมีสีเหลืองเต็มผล (6 คะแนน) วันที่ 7 และ 9 ของการเก็บรักษา กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเปลือกมีสีเหลืองและเกิดจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (7 คะแนน) วันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.004% มีคะแนนการสุกน้อยที่สุดและแตกต่างจากกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.008% ทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆ เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 10 และ 11 กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบการตกกระดำบริเวณเปลือก และผลสุกงอม (8 คะแนน) และวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า เปลือกเป็นสีดำเกือบทั้งหมดและผลหลุดร่วง (9 คะแนน)

4.4.3 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่

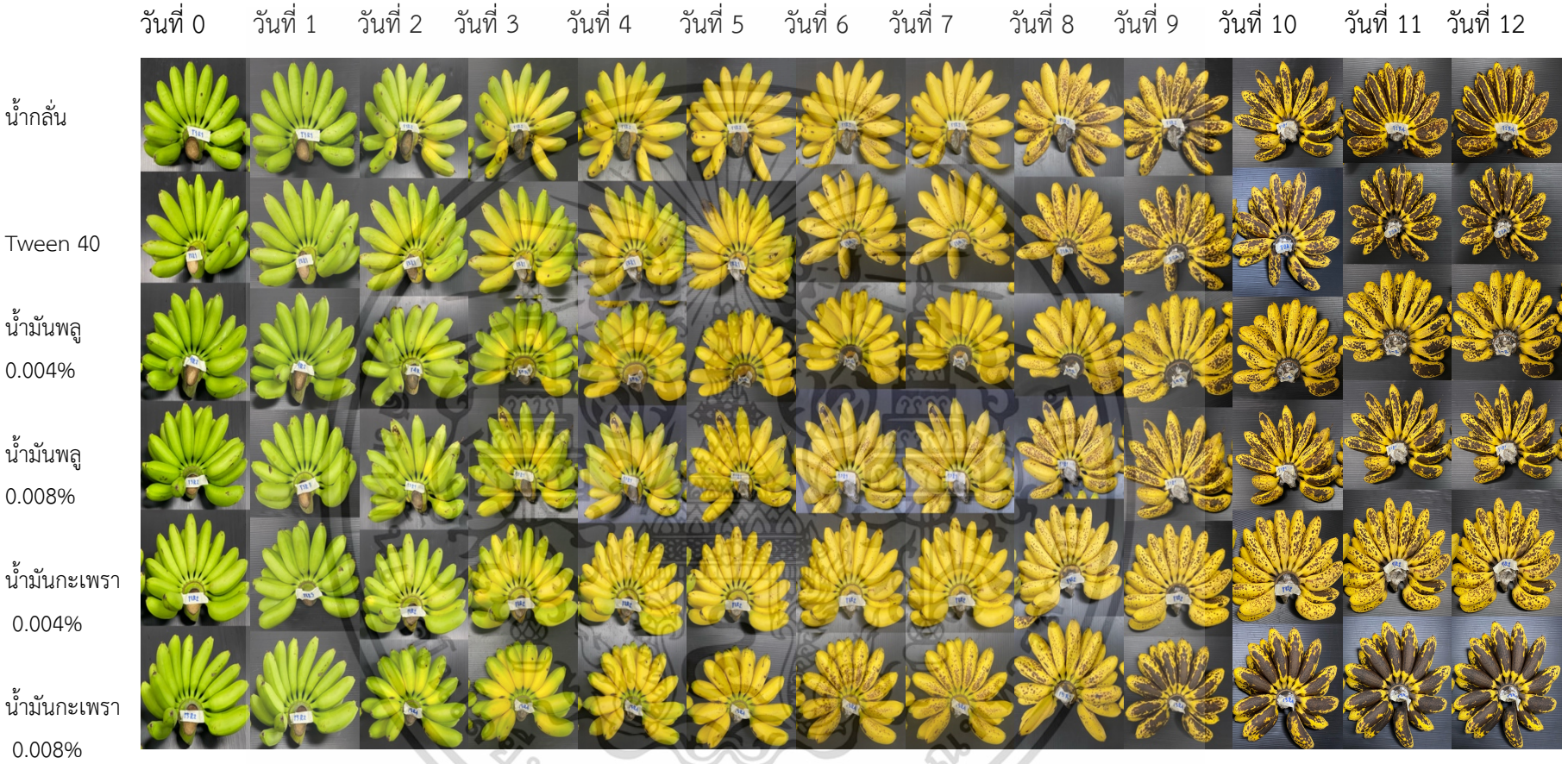
กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเริ่มแสดงจุดกระสีน้ำตาลขนาดเล็กคล้ายปลายเข็มหมุด (2 คะแนน) ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.9 และ 4.11) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% เริ่มพบจุดกระสีน้ำตาลกระจายทั่วเปลือกผลกล้วยไข่ (3 คะแนน) และเริ่มขยายใหญ่ขึ้นและมีขนาดใหญ่กระจายทั่วเปลือกผล (4-5 คะแนน) ภายในเวลา 9 วันของการเก็บรักษา จุดตกกระของเปลือกกล้วยไข่มีขนาดใหญ่และเริ่มเชื่อมกัน (6 คะแนน) และวันที่ 10 ถึง 12 วันของการเก็บรักษา พบว่า จุดตกกระเชื่อมกันเกือบทั้งผล (7 คะแนน) ส่วนกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% พบการตกกระน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 7 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และกรรมวิธีที่แช่ด้วย tween 40 พบการตกกระไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

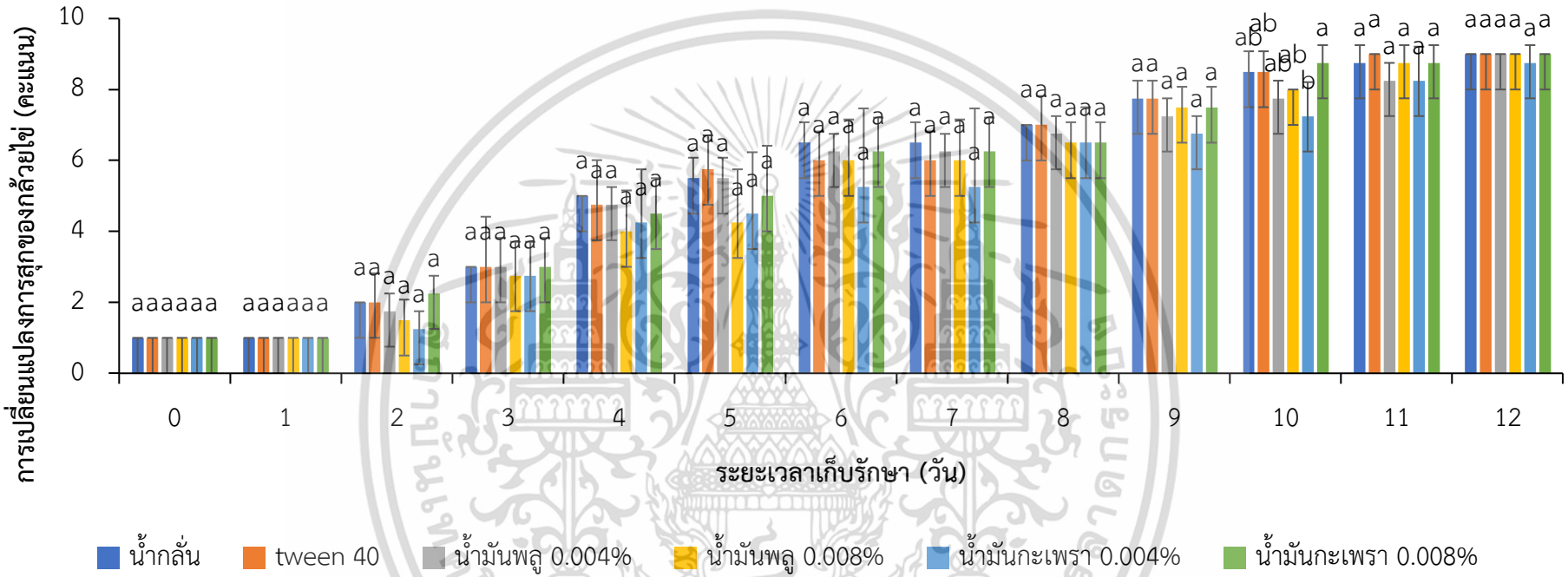
4.4.4 การประเมินอายุการวางจำหน่าย

การประเมินโดยใช้เกณฑ์ประเมินการตกกระของกล้วยไข่ (ไม่มากกว่า 3 คะแนน) เพื่อประเมินระยะเวลาที่ยังสามารถจำหน่ายได้ พบว่า กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีอายุการวางขายนานที่สุด เท่ากับ 8 วันแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยอื่นๆ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% มีอายุการขาย เท่ากับ 7 วัน และกรรมวิธีควบคุมมีอายุการวางขายน้อยที่สุด เท่ากับ 6 วัน แต่ไม่แตกต่างกันกล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.008% (ภาพที่ 4.12)

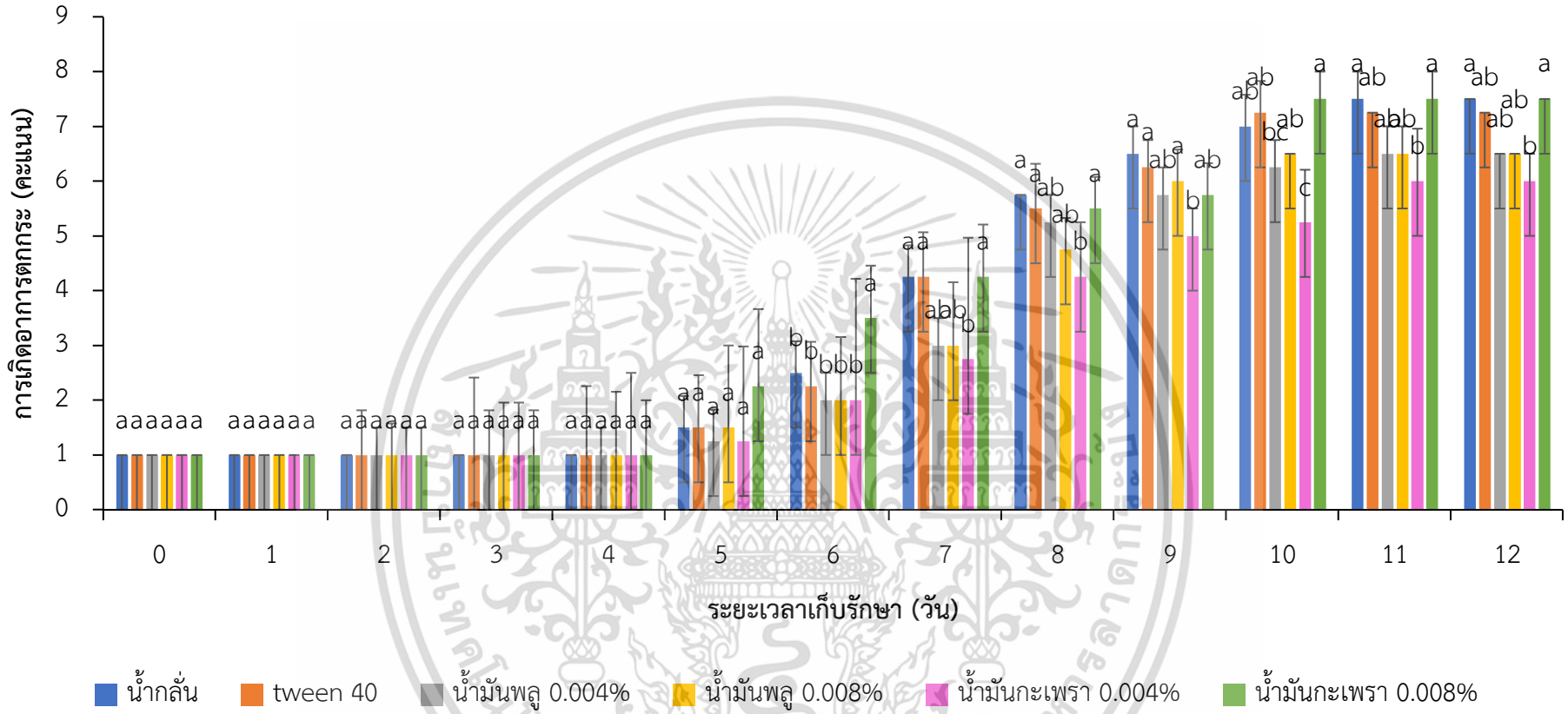
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



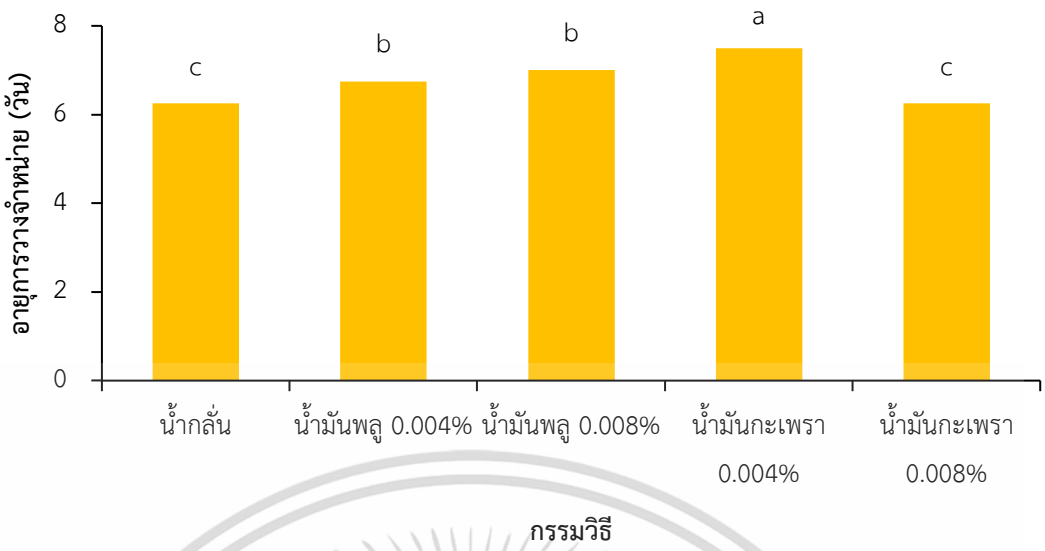
ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงการสุกและการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน



ภาพที่ 4.10 ประเมินการสุกของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน



ภาพที่ 4.11 ประเมินการตกกระของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

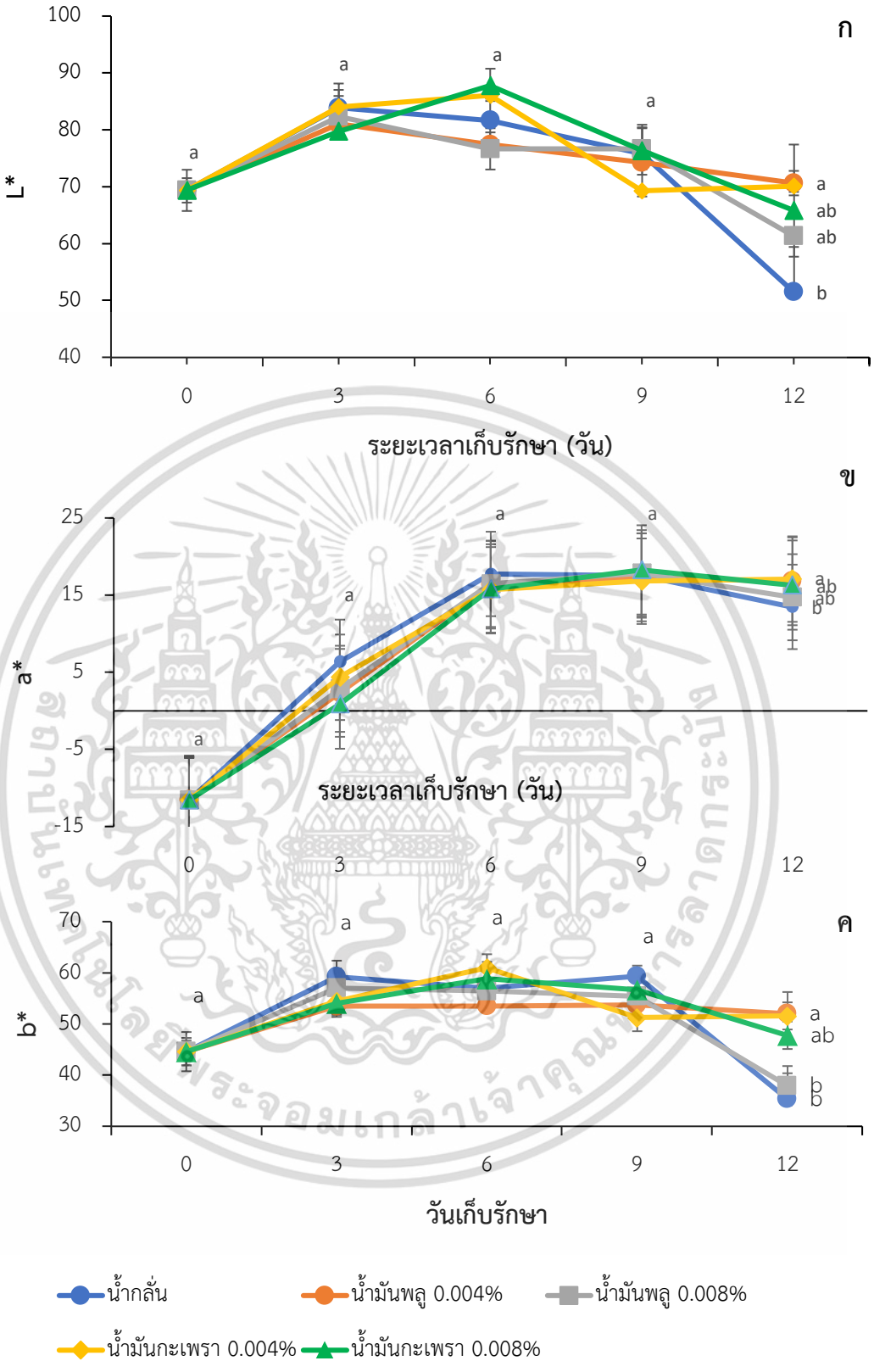


ภาพที่ 4.12 อายุการวางจำหน่ายของกล้วยไข่หลังแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูและกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

4.4.5 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกกล้วยไข่

ค่าความสว่าง (ค่า L*) ของเปลือกกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และลดลงในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ยกเว้นกรรมวิธีแช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% ที่มีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาทุกกรรมวิธีมีค่าความสว่างลดลงจนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยทุกกรรมวิธีมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีค่าความสว่างของเปลือกกล้วยไข่ลดลงน้อยที่สุดและแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันอื่นๆ (ภาพที่ 4.13 ก) ค่าสีแดง (a*) ของเปลือกกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และลดลงเล็กน้อยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยทุกกรรมวิธีมีค่าสีแดงของเปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีค่าสีแดงของเปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นมากที่สุดและแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 4.13 ข) และค่าสีเหลือง (b*) ของเปลือกกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และลดลงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยทุกกรรมวิธีมีค่าสีเหลืองของเปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีค่าสีเหลืองของเปลือกกล้วยไข่ลดลงน้อยที่สุด และแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 4.13 ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

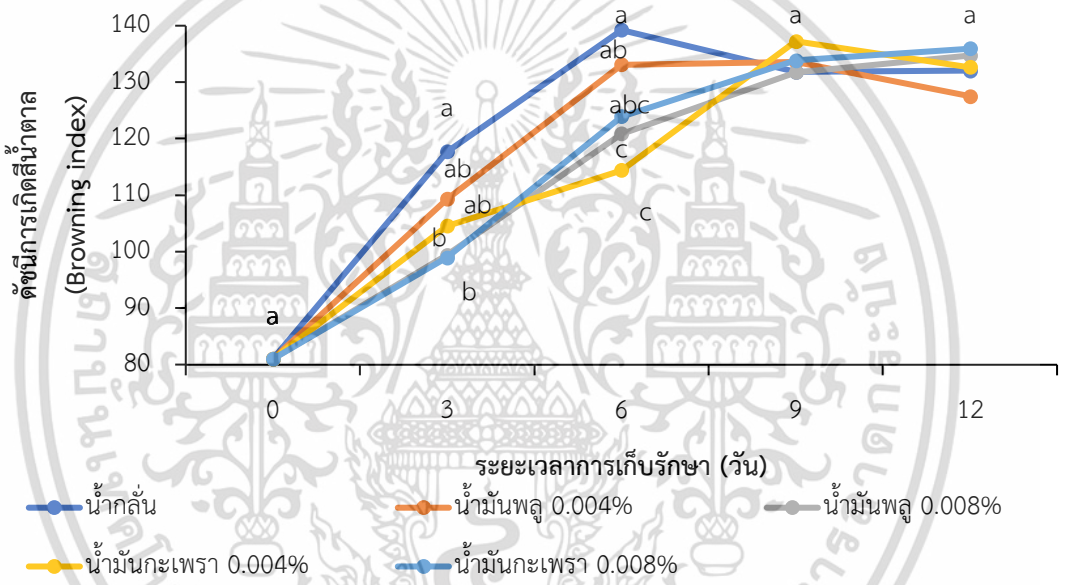


ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงสีผิวแสดงเป็นค่าสี (CIE L* a* b*) ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกกล้วยไข่

กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบค่าดัชนีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเก็บกล้วยไข่เป็นเวลา 3 วัน พบว่า กรรมวิธีควบคุมมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุดและมากกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% เมื่อเก็บกล้วยไข่เป็นเวลา 6 วัน พบว่า กรรมวิธีควบคุมพบค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุดและมากกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% และน้ำมันหอมระเหยกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% และในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา พบว่ากล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.14)

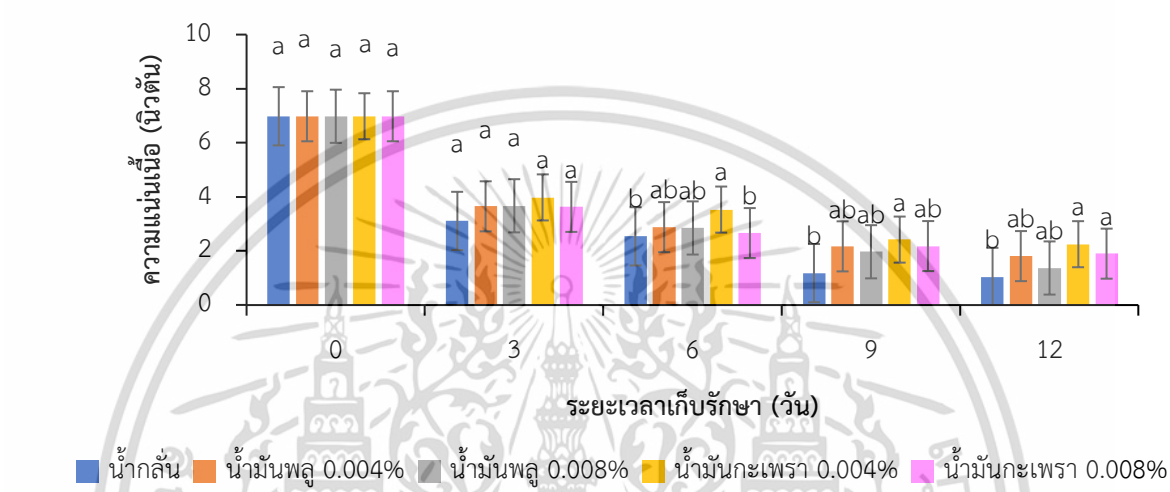


ภาพที่ 4.14 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7 ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่

ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยเริ่มลดลงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 6 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหย (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

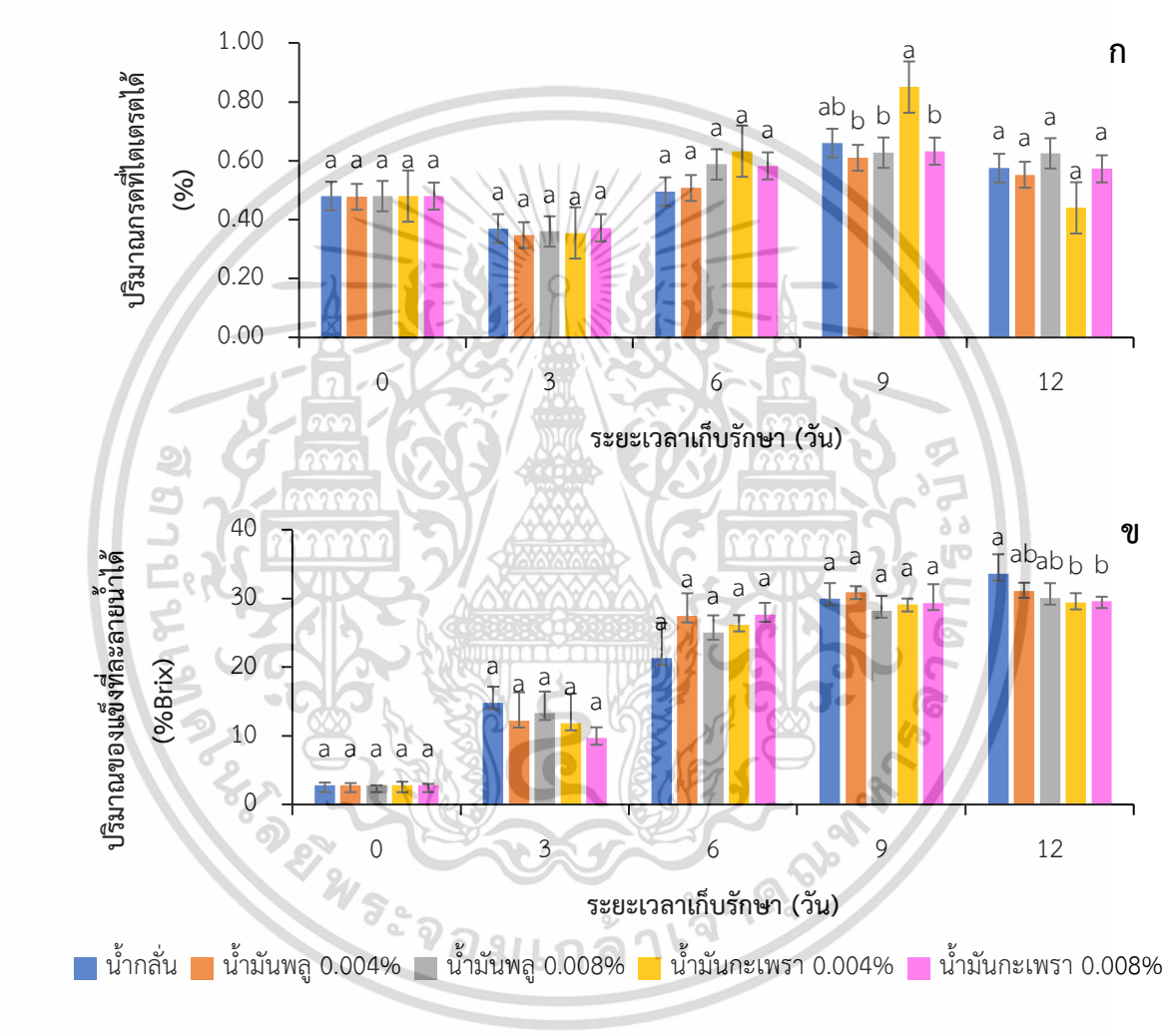
4.4.8 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ลดลงจากนั้นเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาโดยกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้สูงกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันอื่นๆทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุม และยังพบว่า ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ลดลงแต่ไม่แตกต่างทางสถิติทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 4.16 ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยอื่นๆ (ภาพที่ 4.16 ข)

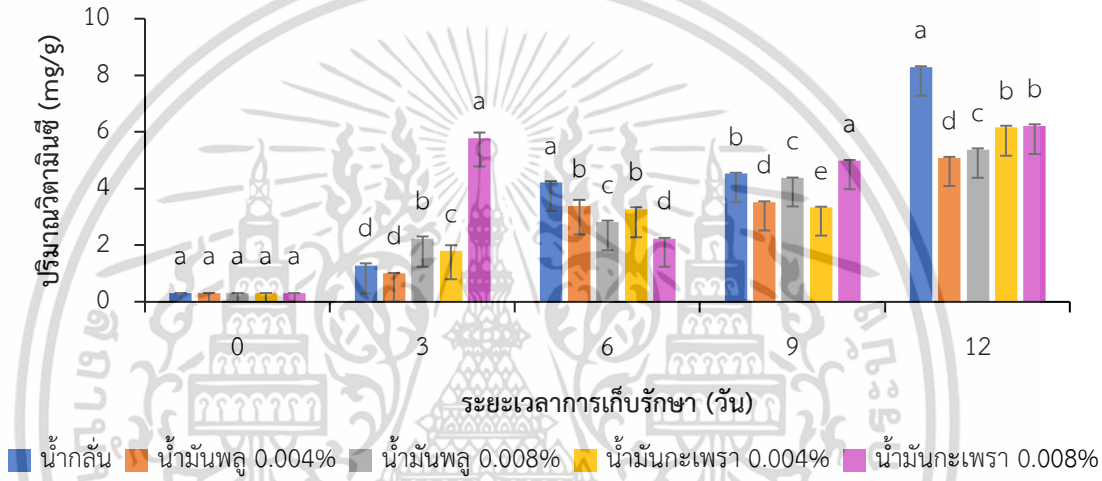


ภาพที่ 4.16 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ก) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ข) ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10 ปริมาณวิตามินซี

กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันมีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นมากกว่าจากกรรมวิธีควบคุมทางสถิติ ยกเว้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% พบปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุดเท่ากับ 5.09 mg/g และกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 8.28 mg/g (ภาพที่ 4.17)



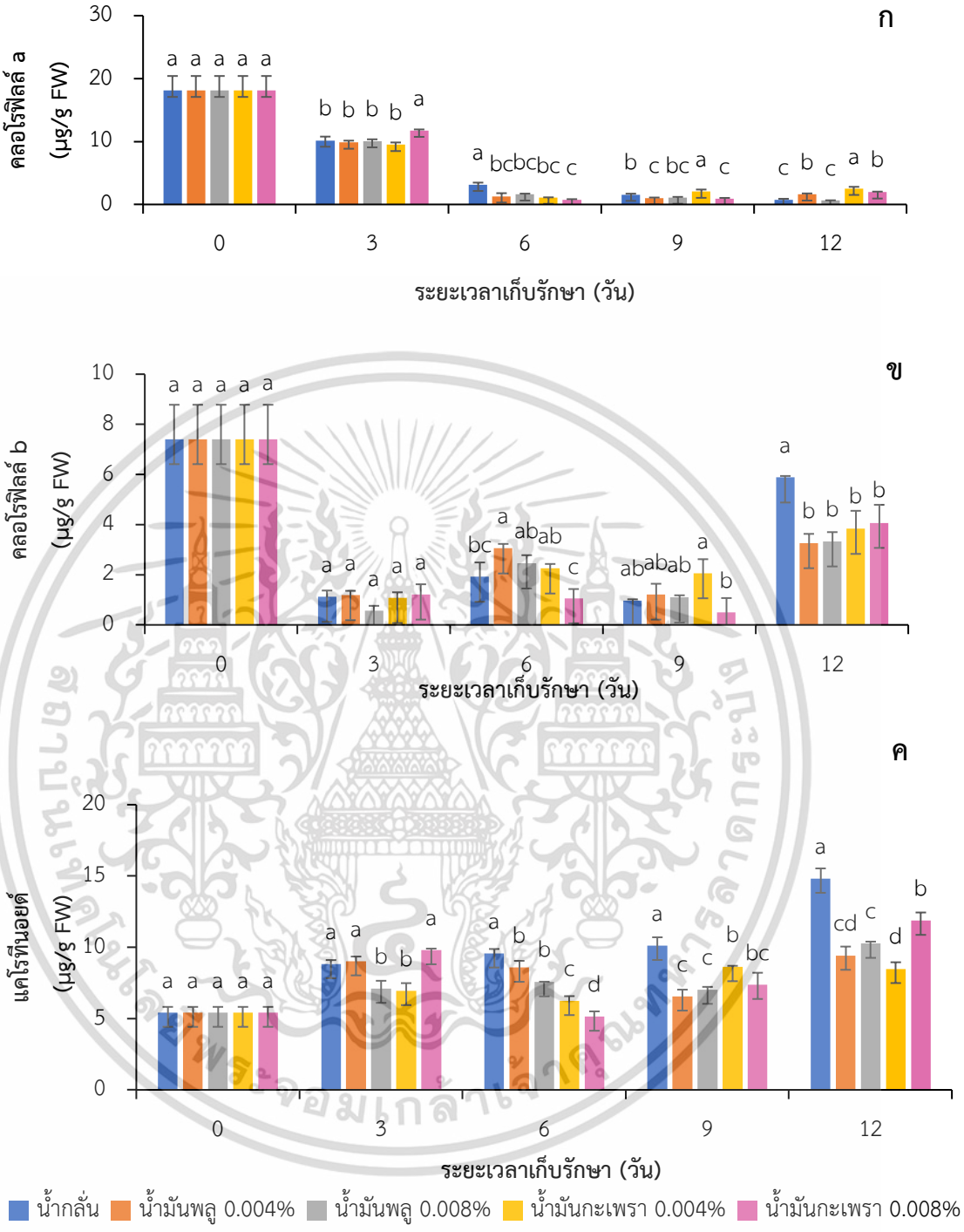
ภาพที่ 4.17 ปริมาณวิตามินซีของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

กรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอในเปลือกกล้วยไข่ลดลงตลอดการเก็บรักษา ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอในเปลือกกล้วยไข่กรรมวิธีควบคุมลดลงและใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงมากกว่ากรรมวิธีควบคุม และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 และ 12 วัน กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.004% พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 4.18 ก) ปริมาณคลอโรฟิลล์บีในทุกกรรมวิธีมีค่าลดลงในวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา จากนั้นลดลงในวันที่ 9 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาในกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีในเปลือกกล้วยไข่สูงกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันในทางสถิติ (ภาพที่ 4.18 ข) ปริมาณแคโรทีนอยด์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในวันที่ 6 9 และ 12 ของการเก็บรักษา กล้วยไข่กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันทุกกรรมวิธีพบปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมในทางสถิติ (ภาพที่ 4.18 ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (ก) คลอโรฟิลล์บี (ข) และแคโรทีนอยด์ (ค) ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.12 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase

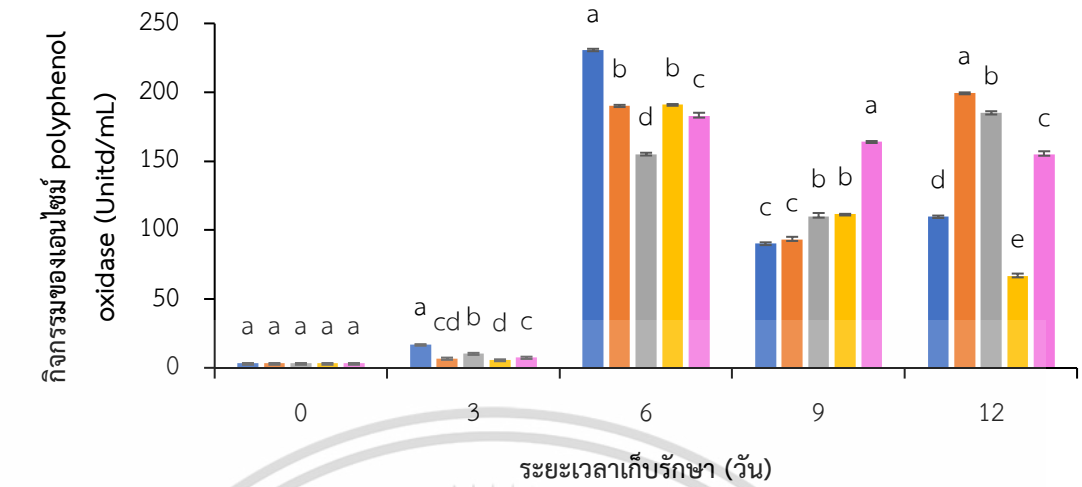
กล้วยไข่ทุกรรมวิธีพบกิจกรรม polyphenol oxidase ในระดับต่ำในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่สุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา และยังพบว่ากล้วยไข่กรรมวิธีควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase สูงกว่ากรรมวิธีที่ได้แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันทางสถิติในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา และวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆทางสถิติ มีกิจกรรมเท่ากับ 66.75 Units/mL และกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูที่ความเข้มข้น 0.004% มีกิจกรรมสูงที่สุดเท่ากับ 199.58 Units/mL (ภาพที่ 4.19 ก)

4.4.13 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase

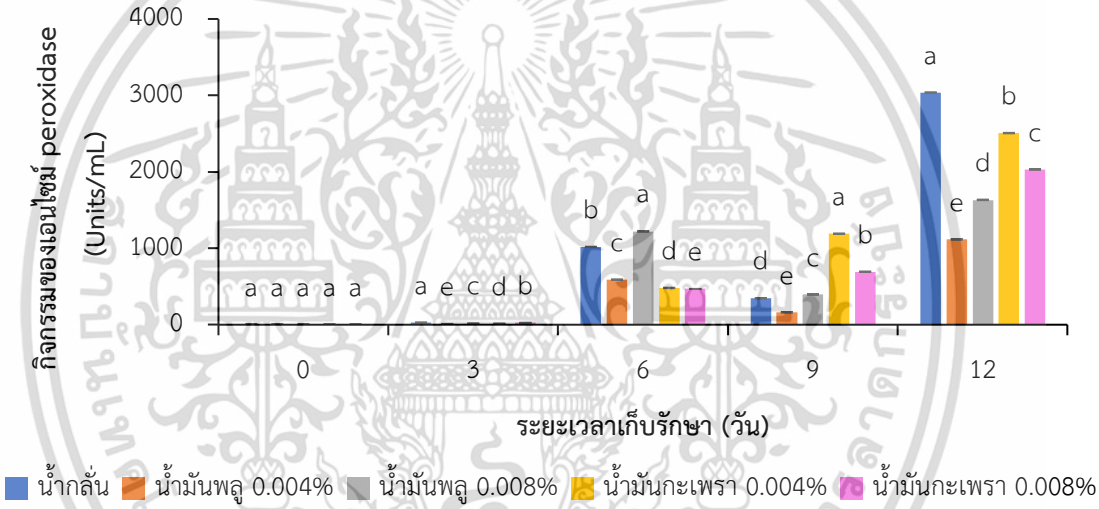
กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase เพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา และลดลงเล็กน้อยในวันที่ 9 จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และยังพบว่ากล้วยไข่กรรมวิธีควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase สูงกว่ากรรมวิธีที่ได้แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันทางสถิติในวันที่ 3 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆทางสถิติ และกรรมวิธีควบคุมมีกิจกรรมสูงที่สุดเท่ากับ 3034.67 Units/mL (ภาพที่ 4.19 ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก



ข

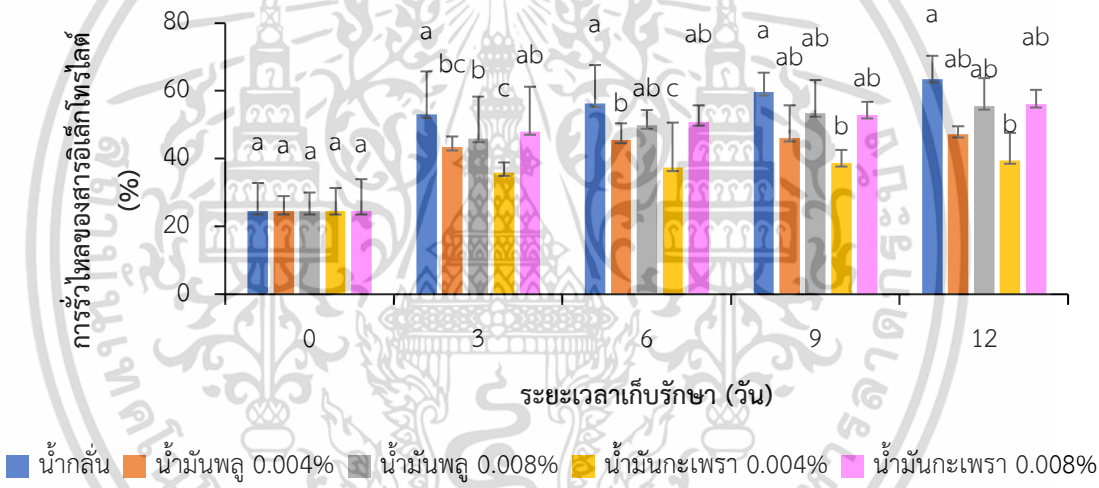


ภาพที่ 4.19 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (ก) และ peroxidase (ข) ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.14 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของเปลือกกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นตามระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น น้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันอื่นๆ และในกรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษาแต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันอื่นๆ โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ต่ำที่สุด เท่ากับ 39.53% ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีมีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงที่สุด เท่ากับ 63.49% (ภาพที่ 4.20)

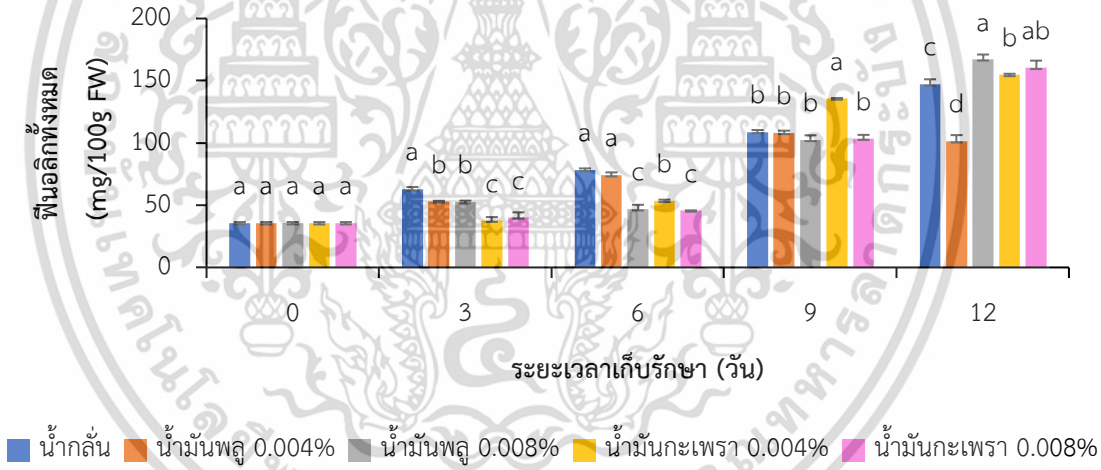


ภาพที่ 4.20 ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.15 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

กรรมวิธีควบคุมพบปริมาณฟีนอลิกของเปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา โดยวันเริ่มต้นของการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 35.54 mg/100 g FW และเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 146.97 mg/100 g FW ส่วนกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรรมวิธีควบคุม วันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันทางสถิติ วันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณฟีนอลิกมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆทางสถิติ วันที่ 9 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณฟีนอลิกมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆทางสถิติ และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% มีปริมาณฟีนอลิกมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆทางสถิติ ยกเว้นกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% (ภาพที่ 4.21)

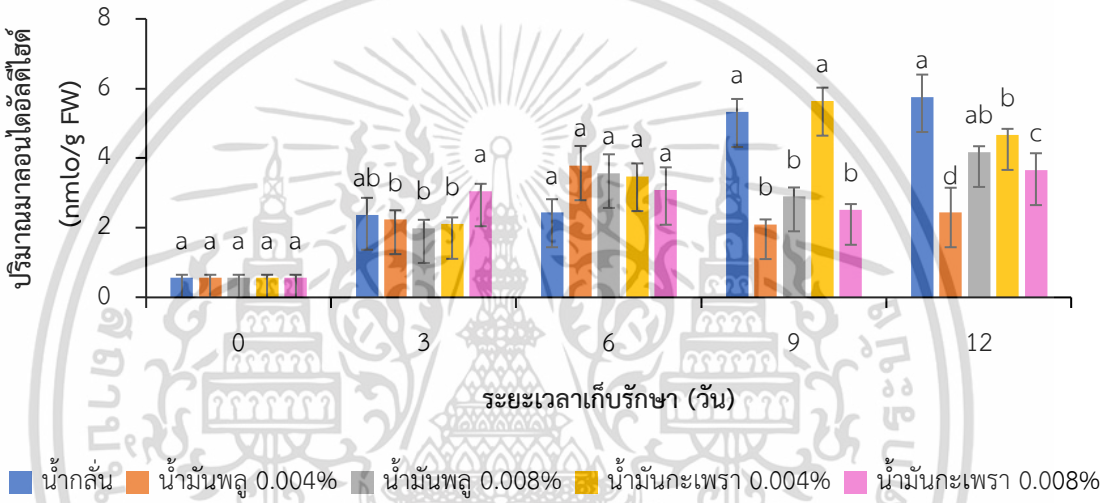


ภาพที่ 4.21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.16 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)

เปลือกกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติในวันที่ 3 และ 6 วันของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติในวันที่ 9 และ 12 วันของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำที่สุด เท่ากับ 2.44 nmol/g FW ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์สูงที่สุด เท่ากับ 5.75 nmol/g FW (ภาพที่ 4.22)

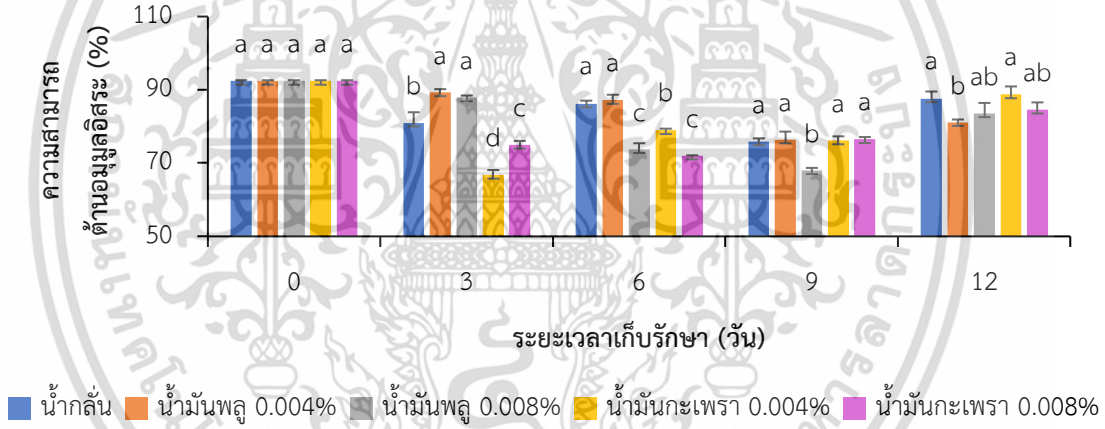


ภาพที่ 4.22 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.17 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging assay

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยไข่ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% และ 0.008% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากรรมวิธีอื่นทางสถิติ วันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% และกรรมวิธีควบคุม มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากรรมวิธีอื่นทางสถิติ วันที่ 9 ของการเก็บรักษา พบว่า ทุกกรรมวิธีมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.008% และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% มีความสามารถใน การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 88.70% แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุม (ภาพที่ 4.23)



ภาพที่ 4.23 ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ระหว่างการสุก

การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยไข่เป็นปัจจัยที่ยืนยันการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการสุกของกล้วยไข่จากระยะดิบเป็นระยะสุก (Mendoza and Aguilera, 2004) สีของเปลือกกล้วยจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองระหว่างการสุก สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการทำให้สุกของกล้วยป่า (*Musa acuminata)* (Bugaud *et al.,* 2009), กล้วยเล็บมือนาง (*Musa AA group*) (Youryon and Supapvanich, 2017) และกล้วยหอม 'Grand Nain' (*Musa AAA group*) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีเขียวเป็นสีเหลืองเกิดจากการสลายของคลอโรฟิลล์โดยการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส รวมทั้งการสะสมเบต้าแคโรทีนและแซนโทฟิลล์ในระหว่างพัฒนาการสุกนั้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก (Seymour *et al.* 2008; Tongpoolsomjit *et al.*, 2020) จากการศึกษาค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของสีเขียวและการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองเมื่อเริ่มสุก และค่าความสว่างที่ลดลงนั้นเกิดขึ้นพร้อมกับจุดสีน้ำตาล ซึ่งเพิ่มจำนวนขึ้นที่เปลือกกล้วยไข่ที่ระยะสุกงอม (ตารางที่ 4.1) การลดลงของความสว่างของกล้วยไข่ในระยะสุกงอมเกิดจากจุดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างการสุก ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mendoza และ Aguilera (2004) ที่ทำการศึกษาในกล้วยหอม (*Musa cavendish*) พบว่าค่าความสว่างลดลงในช่วงหลังของระยะเวลาการสุกที่วัดโดยใช้ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์และเครื่องวัดสี กล้วยไข่มีความแน่นเนื้อลดลงเมื่อพัฒนาการสุก (ภาพที่ 4.1 ก) การอ่อนนุ่มของผลกล้วยไข่เป็นลักษณะทั่วไปที่แสดงว่ากล้วยไข่สุก เนื่องจากการแตกตัวของโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้ และการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Seymour *et al*., 1993; Mattoo *et al.*, 1975) กล้วยไข่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการสุกเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่ผลสุกงอมและสุกงอมมาก (ภาพที่ 4.1 ข) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลกล้วยไข่ทำให้แป้งแตกตัวเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (ชาญชัย ศรีพร และกิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2551) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มักสัมพันธ์กับรสชาติของผลไม้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมของกรดมาลิกและกรดซิตริกในผลไม้สุก และโดยทั่วไปจะวัดค่าความเป็นกรดที่ไทเทรตได้ (Seymour *et al.*, 1993) ความแตกต่างของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในผลสุกจะแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ (Bugaud *et al.*, 2011) กรดมาเลตเป็นกรดอินทรีย์หลักที่พบได้ทั้งในผลไม้ที่เป็น climacteric และ non-climacteric มีรายงานว่ามะเขือเทศจะใช้กรดมาเลตระหว่างการหายใจเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการสะสมและการใช้กรดอินทรีย์อาจไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการหายใจและ climacteric (Goodenough *et al.*, 1985) ตัวอย่างเช่น กล้วยและมะม่วง (*Mangifera indica*) มีการสะสมมาเลตอย่างต่อเนื่องตลอดการสุก รวมถึงช่วงการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด (Selvaraj and Kumar, 1989) ดังที่แสดงในภาพที่ 4.1 ค ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้คงที่ระดับสูงไว้ในระหว่าพัฒนาการสุกแสดงว่าอาจมีการสะสมกรดอินทรีย์ระหว่างการสุกของกล้วยไข่ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลบนผลกล้วยไข่ระหว่างการสุก ได้แก่ การทำงานของเอนไซม์และการเพิ่มขึ้นของการซึมผ่านของพลาสมาเมมเบรนของเซลล์ (Lóay and Dawood, 2017) การเกิดสีน้ำตาลเกิดจากการออกซิเดชั่นของฟีนอลซึ่งส่วนใหญ่เป็นออร์โทไดฟีนอล (O-diphenols, 1,2-diphenols) ไปเป็นเซมิควิโนนและควิโนนโดย polyphenol oxidase และ peroxidase ส่งผลให้เกิดสารสีน้ำตาล (Pourcel *et al.*, 2007) ในระหว่างการทำให้สุก การเกิดกิจกรรม polyphenol oxidase และ peroxidase ในเปลือกกล้วยไข่เมื่อเปลี่ยนจากระยะห่ามเป็นระยะสุกงอมนั้นสูงกว่าระยะดิบมาก (ภาพที่ 4.2) ดังนั้นเปลือกกล้วยไข่ในระยะดิบจึงไม่มีจุดสีน้ำตาลและจุดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระยะห่ามไปจนถึงระยะสุกงอมมาก

5.2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

จากการทดลองเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันกับสารลดแรงตึงผิวต่างๆพบว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 40 (20%) และ น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ Tween 40 (5%) ของเหลวเป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะเป็นน้ำนมมีการคงตัวดีและมีความเสถียรมากที่สุด (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติในการผสมผสานให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยลดแรงตึงผิวของของเหลวทั้งสองชนิด จากการทดลองเป็นระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water, O/W) ซึ่งของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่องคือน้ำ และของเหลวที่เป็นเฟสกระจายตัวอยู่ภายในคือน้ำมัน (Schramn *et al.*, 2003) สารลดแรงตึงผิวจะทำการลดพลังงานอิสระที่พื้นผิวทำให้หยดวัฏภาคที่กระจายตัวอยู่นั้นสามารถรวมตัวกันได้น้อยลง และเกิดฟิล์มที่แข็งแรงและยืดหยุ่นโดยรอบหยดวัฏภาคภายใน โดยลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของฟิล์มจะแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ ซึ่งฟิล์มอาจเรียงตัวกันเป็นโมเลกุลเดี่ยว โดยจะหันด้านที่มีประจุเข้าหาวัฏภาคน้ำ และหันด้านที่ไม่มีประจุเข้าหาวัฏภาคน้ำมัน ส่งผลให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวจึงมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างระบบอิมัลชันที่มีความเสถียร (สุภัคชนม์ คล่องดี, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อำพล ไมตรีเวช และคณะ (2556) กล่าวว่าสารลดแรงตึงผิว Tween แต่ละชนิดมีหัวเป็นสายโพลีออกซีเอธิลลีนต่อกับซอร์บิแทนและมีหางเป็นสายกรดไขมันที่มีความยาวต่างๆกัน ดังนั้นในการผลิตอิมัลชันให้มีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็กจะใช้ Tween 80 และ Tween 40 สามารถผลิตอิมัลชันให้มีขนาดอนุภาคน้ำมันเล็กกว่า Tween ชนิดอื่นๆซึ่งน้ำมันที่มีขนาดอนุภาคเล็กทำให้เกิดการแยกตัวของอิมัลชันหากตั้งทิ้งไว้จะน้อยลง เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูกับ Tween 40 (20%) และ น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรากับ Tween 40 (5%) ที่ความเข้มข้น 0.5,1 และ 2% มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับน้ำมันหอมระเหยที่ละลายในเอทานอลและ ascorbic acid 0.17% ในการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ peroxidase ของสารสกัดจากเปลือกกล้วยไข่ในหลอดทดลอง พบว่า น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 2% มีประสิทธิภาพลดกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ได้มากที่สุดและดีกว่าน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่ละลายในเอทานอลแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 4.3 ก) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันมีฤทธิ์ต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ละลายในเอทานอล อาจเนื่องจากในการสร้างระบบอิมัลชันนิยมใช้สารลดแรงตึงผิว ชนิดของสารลดแรงตึงผิวอาจส่งผลต่อการลดฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยสารลดแรงตึงผิวอาจจับกับตำแหน่งที่เข้าทำปฏิกิริยาของน้ำมันหอมระเหยด้วยพันธะไฮโดรเจน (Remmal *et al.,* 1993) และน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 2% มีประสิทธิภาพลดกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ได้มากที่สุด และแตกต่างทางสถิติกับน้ำมันหอมระเหยใบพลูบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน (ภาพที่ 4.3 ข) Barradas and Silva (2020) กล่าวว่าการเตรียมน้ำมันหอมระเหยให้อยู่ในรูปอิมัลชันจะมีอนุภาคที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่สามารถช่วยในการแทรกซึมของเยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้งยังมีความเสถียรและความคงตัวที่ดีขึ้น จึงช่วยส่งเสริมฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยได้มากขึ้น การเพิ่มความสามารถฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยนั้นนาโนอิมัลชันได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นหนึ่งในวิธีการที่มีศักยภาพมากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติในการห่อหุ้มส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ในขนาดหยดนาโนเมตร ส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยมีเสถียรภาพมากขึ้นแม้ว่าจะไม่ชอบน้ำและนำไปสู่การใช้งานที่กว้างขึ้น (Singh and Pulikkal, 2022) Shi *et al.* (2022) ศึกษาการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยจากพริกไทยเสฉวนในรูปนาโนอิมัลชันกับน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ พบว่า ผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยจากพริกไทยเสฉวนในรูปนาโนอิมัลชันต่อเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* นั้นสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ เป็นการยืนยันว่าน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันสามารถรักษาส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพส่วนใหญ่ของน้ำมันหอมระเหยได้ Yazgan *et al.* (2019) ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำมันหอมระเหยมะนาวในรูปนาโนอิมัลชันและน้ำมันหอมระเหยมะนาวบริสุทธิ์ต่อเชื้อโรคที่เกิดจากอาหารและแบคทีเรียที่เน่าเสียจากปลา พบว่า การใช้น้ำมันหอมระเหยมะนาวนาโนอิมัลชันสามารถยับยั้งเชื้อโรคที่เกิดจากอาหารได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยมะนาวบริสุทธิ์ Moazeni *et al*. (2021) ศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยไทม์ในรูปนาโนอิมัลชันในการต้านเชื้อราในหลอดทดลอง พบว่า ค่า MIC ของน้ำมันหอมระเหยไทม์ในรูปนาโนอิมัลชันสำหรับ *Candida albicans, Candida glabrata, Aspergillus* และ *dermatophytes* มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ค่า MIC ของ น้ำมันหอมระเหยไทม์ในรูปนาโนอิมัลชันสำหรับ *Candida parapsilosis* มีการลดลงเล็กน้อย ผลการศึกษายืนยันว่า น้ำมันหอมระเหยไทม์ในรูปนาโนอิมัลชันแสดงฤทธิ์ต้านเชื้อราได้ดีกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันเพื่อลดอาการตกกระของกล้วยไข่

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% ในการลดการตกกระ เก็บรักษาเป็นเวลา 12 วันที่อุณหภูมิห้อง พบว่า การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยไข่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยกรรมวิธีควบคุมพบการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 4.8) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan *et al.* (2021) ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยไทม์และการยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส : กรณีศึกษาการเกิดสีน้ำตาลด้วยเอนไซม์ของผลลำไยที่เก็บเกี่ยวแล้ว พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของผลลำไยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยกรรมวิธีควบคุมพบการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ากรรมวิธีที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยไทม์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยไทม์มีองค์ประกอบลดการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ได้ และ วรรธนมณฑน์ ชาญจารุจิตร์ และคณะ (2553) ศึกษาการประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมร่วมกับสารเคลือบผิวเชลแลคเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่า มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยเชลแลคความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมน้ำมันตะไคร้หอมความเข้มข้นร้อยละ 0.5 สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้

กล้วยเป็นผลไม้ประเภท climacteric เมื่อผลสุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีที่สำคัญ เช่น เกิดการหายใจและการสร้างเอทิธิลีนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสระหว่างการสุก (จริงแท้, 2542) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการสุกของกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเข้าสู่ระยะผลสุกพร้อมกัน แต่หลังจากการสุก กล้วยไข่ชุดควบคุมเข้าสู่ระยะผลสุกงอมไวกว่า เนื่องจากแสดงอาการตกกระมากกว่า (ภาพที่ 4.9 และ 4.10) ความแน่นเนื้อของกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราที่ความเข้มข้น 0.004% มีความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีควบคุมตั้งแต่วันที่ 6 ถึง 12 วันของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.15) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Serrano *et al.* (2005) ศึกษาการใช้สารต้านเชื้อราตามธรรมชาติร่วมกับการบรรจุแบบดัดแปลรบรรยากาศ (MAP) ในการเก็บรักษาเชอร์รี่หวาน พบว่า เมื่อเติมยูจีนอล เมนทอล หรือไทมอล ลงในบรรจุภัณฑ์ ความแน่นเนื้อของเชอร์รี่สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารประกอบธรรมชาติเหล่านี้สามารถลดการทำงานของเอนไซม์ย่อยสลายผนังเซลล์ได้ทำให้เกิดการอ่อนตัวช้าลง ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุมตลอดการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.16 ก) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tapre and Jain (2012) พบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ของกล้วยพันธุ์ Robusta เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จนถึงระยะสุกเต็มที่ ภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ และคณะ (2563) พบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้เปลี่ยนแปลงในระหว่างการสุกของกล้วย โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในผักและผลไม้ส่วนใหญ่คือกรดซิตริก และกรดมาลิก โดยจะถูกสะสมเอาไว้ในแวคิวโอล ซึ่งกรดอินทรีย์จะมีผลต่อรสชาติของผักผลไม้โดยตรงและยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารเริ่มต้นในกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541; ดนัย บุณยเกียรติ และนิธิยา รัตนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปนนท์, 2548) ปริมาณกรดทั้งหมดของผักและผลไม้จะลดลงเมื่อผลไม้แก่หรือสุก แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ และสภาพในการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีพบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยไข่กรรมวิธีควบคุมพบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่ากรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหย (ภาพที่ 4.16 ข) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เนื่องจากกล้วยเมื่อเข้าสู่ระยะสุก จะเกิดการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลมากขึ้น (Fernando *et al.*, 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมคิด ใจตรง และคณะ (2564) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและทางกายภาพและเคมีของกล้วยทิพรส พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตามระยะการสุกที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มจาก 4.76±0.67 เป็น 28.42±1.42%

การประเมินการตกกระของกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีเริ่มแสดงการตกกระในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา และกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% พบการตกกระน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 7 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.11) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสี พบค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และค่าสีเหลืองลดลง เนื่องจากการตกกระที่เพิ่มขึ้นตามระยะการสุกของกล้วยไข่ทำให้เปลือกกล้วยไข่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 4.13 และภาพที่ 14) สอดคล้องกับงานวิจัยของเพชรรัตน์และคณะ (2559) ศึกษาผลของออกซิเจนความเข้มข้นสูงต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการตกกระในกล้วยไข่ พบว่า ค่าสีเปลือก (L*, b* และ h) ของผลกล้วยไข่ที่ได้รับออกซิเจนความเข้มข้นสูง มีการตกกระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับค่า L*, b* และค่า h ที่ลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการตกกระที่เพิ่มขึ้น พบค่า L* ลดลงต่ำที่สุด ในระยะเปลือกของผลกล้วยไข่มีสีน้ำตาลเกือบทั้งผล เช่นเดียวกับค่า b* และค่า hue ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการตกกกระที่เพิ่มขึ้นทำให้เปลือกกล้วยไข่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ปริมาณคลอโรฟิลล์ของกล้วยไข่ พบว่า คลอโรฟิลล์เอ ทุกกรรมวิธีลดลงตลอดการเก็บรักษา โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยกะเพราที่ความเข้มข้น 0.004% สูงที่สุด (ภาพที่ 4.18 ก) คลอโรฟิลล์บีของกล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่ากรรมวิธีควบคุมมีคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุด (ภาพที่ 4.18 ข) และแคโรทีนอยด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่ากรรมวิธีควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด (ภาพที่ 4.18 ค) การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยไข่ในระหว่างการสุกเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ การสลายตัวของคอลโรฟิลล์เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายตัว เช่น chlorophyllase peroxidase oxidase lipoxygenase และ Mg-dechelatase นอกจากนี้เอนไซม์ peroxidase ที่ทำให้เกิดการสลายของคลอโรฟิลล์ได้แล้วยังทำให้เกิดสีน้ำตาลหรือเป็นสาเหตุหนึ่งของการตกกระอีกด้วย โดย peroxidase จะเป็นเอนไซม์ที่เร่งการสลายของสารตั้งต้นด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน การตกกระของกล้วยไข่เกิดขึ้นจากความผิดปกติทางสรีระของกล้วย เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ของเปลือกกล้วยถูกทำลายและเกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างเกิดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุก (Ketsa, 1995) โดยการตกกระจะเริ่มปรากฏเมื่อกล้วยอยู่ในระยะที่เปลือกมีสีเหลืองอมเขียว หรือระยะห่าม การตกกระจะรุนแรงขึ้นเมื่อกล้วยอยู่ในระยะสุก (Ketsa, 1995) Adams and Brown (2007) กล่าวว่า จุดตกกระสีน้ำตาลที่แสดงบนผิวเปลือกผลกล้วยไข่ ที่เพิ่มจำนวนและขยายพื้นที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากบริเวณนั้นเป็นเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายจากความเครียดของการออกซิเดชัน ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ซึ่งจุดสีน้ำตาลที่ปรากฏขึ้นเป็นผลมาจากความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์และการออกซิเดชันของเอนไซม์ เมื่อสารตั้งต้นรั่วไหลออกมาสัมผัสกับเอนไซม์ และออกซิเจน สารไม่มีสีถูกออกซิไดซ์จนได้เป็นสารที่มีสีน้ำตาล จากนั้นบริเวณเปลือกกล้วยจะเริ่มเปลี่ยนจากสีน้ำตาลไปจนถึงสีดำส่งผลต่อคุณภาพของผลกล้วย (Nguyen, 2003) จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase พบว่า กรรมวิธีควบคุมพบกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase สูงกว่ากรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราความเข้มข้น 0.004% พบกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำที่สุด (ภาพที่ 4.19 ก) และกรรมวิธีควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase สูงกว่ากรรมวิธีที่แช่น้ำมันหอมระเหยทางสถิติในวันที่ 3 และ 12 ของการเก็บรักษา โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูความเข้มข้น 0.004% มีกิจกรรมต่ำที่สุด (ภาพที่ 4.19 ข) น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราและใบพลูมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ คือยูจีนอล (eugenol) และจากการศึกษาของ zhu *et al*. (2022) ยืนยันว่าการใช้ยูจีนอลสามารถลดกิจกรรมของ polyphenol และ peroxidase ในแห้วจีนตัดแต่งได้ ซึ่งยูจีนอลอาจชะลอการเกิดสีน้ำตาล โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PAL ที่มีผลต่อการสะสมปริมาณฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล โดยยูจีนอลจับกับ hydrophobic และพันธะไฮโดรเจนที่บริเวณ active site และยังยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol และ peroxidase ที่ทำในเกิดสีน้ำตาลเมื่อเจอกับฟีนอล

การเพิ่มขึ้นของปริมาณอนุมูลอิสระส่งผลต่อความเสียหายออกซิเดชัน เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพและการสุกของผลิตผล (สิรวิชญ์ โชคกะคาม, 2562) จากการศึกษาพบว่า ปริมาณฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษาทุกกรรมวิธี โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันพลูความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณฟีนอลิกต่ำที่สุด (ภาพที่ 4.21) การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของเปลือกกล้วยไข่ มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราความเข้มข้น 0.004% พบการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์น้อยกว่าชุดควบคุมตั้งแต่วันที่ 3 ถึง 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.20) และกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูความเข้มข้น 0.004% มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของเปลือกกล้วยไข่ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุมในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.22) การประเมินการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ภายในเซลล์เป็นตัวชี้ถึงความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ Ramírez-Sánchez (2018) กล่าวว่า ระหว่างการสุกของกล้วยทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์เปลือกกล้วยไข่ลดลงส่งผลให้เกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนกับ lipid ที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น สร้างความเสียหายกับออแกเนลต่างๆ ทำให้ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราและใบพลู มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมียูจีนอลเป็นองค์ประกอบหลัก ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถป้องกันการเกิด lipid peroxidation ได้ (ศุภรัตน์ ดวนใหญ่ และคณะ, 2563) ปริมาณวิตามินซีของกล้วยไข่ พบว่า กล้วยไข่ทุกกรรมวิธีมีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.17) ซึ่งวิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด ปริมาณวิตามินซีที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษานั้นถูกสังเคราะห์ขึ้นเนื่องจากผลไม้พัฒนาการสุก (Phillip *et al.,* 2016)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่า มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยกรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยกะเพราความเข้มข้น 0.004% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (ภาพที่ 4.23) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยใบกะเพรามีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและสารป้องกันทางเคมีที่มีประสิทธิภาพ น้ำมันหอมระเหยกะเพราเป็นทางเลือกแทนสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์และสารต้านจุลชีพในอุตสาหกรรมอาหารและยาการแพทย์ทางเลือก และการบำบัดด้วยธรรมชาติได้ (Shiwakoti *et al.,* 2017) ประภัสสร วีรพันธ์ และวัชรี คุณกิตติ (2554) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย 8 ชนิดด้วยวิธี GC/MS และทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี free radical scavenging (DPPH) และ lipid peroxidation inhibition (TBARs) พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากกะเพรามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด

ดังนั้น น้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพราที่มีสารสำคัญซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับกล้วยไข่จะทำให้ลดความเสียหายของเซลล์จากการเกิดออกซิเดชัน และอาจทำงานร่วมกับวิตามินซีที่จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกันและมีปริมาณสูงขึ้นในระหว่างการสุกของกล้วยไข่ รักษาความสามารถในการจำกัดอนุมูลภายในเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีเสถียรภาพและมีปริมาณ MDA อยู่ในระดับต่ำ และยังพบว่ายูจีนอลซึ่งเป็นสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา อาจยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase จึงลดอาการตกกระของกล้วยไข่ในช่วงระยะสุกงอมให้เกิดขึ้นน้อยกว่า ส่งผลให้กล้วยไข่ที่ได้รับน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรามีอายุการขาย 8 วัน ซึ่งมากกว่าชุดควบคุม 2 วัน (ภาพที่ 4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางชีวเคมีของกล้วยไข่ระหว่างการสุก

กล้วยไข่ที่เก็บเกี่ยวในระยะสุกแก่และปล่อยให้พัฒนาการสุกตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ค่าความสว่างของเปลือกกล้วยไข่เพิ่มขึ้นในขณะที่สีเขียวลดลงและความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มสุก นอกจากนี้ความสว่างที่ลดลงเกิดขึ้นพร้อมกับจุดสีน้ำตาลที่ระยะสุกเกินไป ซึ่งจุดกระสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นและมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากการรวมตัวกันของจุดกระและมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ปริมาณ TA คงอยู่ในระดับสูงในขณะที่ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการสุก และตรวจพบกิจกรรม polyphenol oxidase และ peroxidase ต่ำสุดในระยะดิบและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามพัฒนาการสุก

6.2 การทดลองที่ 2 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันและศึกษาการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase

จากการเตรียมน้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชัน พบว่า สูตรน้ำมันหอมระเหยที่ดีที่สุดได้แก่ น้ำมันหอมระเหยใบพลูผสมกับสารลดแรงตึงผิว tween 40 อัตราส่วน 1:2 และน้ำมันหอมระเหยจากใบกะเพรา ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Tween40 อัตราส่วน 1:0.5 ทำให้เกิดไมโครอิมัลชันขนาดอนุภาคน้ำมัน เท่ากับ 143 และ 156 นาโนเมตร ตามลำดับ และมีค่าความเสถียรเท่ากับ -10.56 และ -19.53 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ทดสอบการต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase พบว่า น้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 2% สามารถต้านกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ได้ดีที่สุด และมีแนวโน้มสูงกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกันแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชัน 2% สามารถต้านกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ดีที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

6.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการแช่กล้วยไข่ต่อการลดอาการตกกระของกล้วยไข่

เมื่อนำกล้วยไข่แช่ในน้ำมันหอมระเหยพลูและกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.002, 0.004 และ 0.008% เป็นเวลา 5 นาที และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ พบว่า กรรมวิธีที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 0.004% รักษาน้ำหนักสดได้มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงการสุกของกล้วยไข่ไม่แตกต่างกัน และการตกกระพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหอมระเหยที่แช่ด้วยใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004% น้ำมันหอมระเหยใบพลูความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% และน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราความเข้มข้น 0.008% พบการตกกระน้อยที่สุดตามลำดับ

6.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยพลูและกะเพราในรูปอิมัลชันเพื่อลดอาการตกกระของกล้วยไข่

กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูและใบกะเพราในรูปอิมัลชันที่ความเข้มข้น 0.004 และ 0.008% เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน ประเมินลักษณะภายนอกและลักษณะทางชีวเคมี พบว่า กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 0.004% พบการตกกระน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 7 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และสามารถรักษาอายุการวางจำหน่ายของกล้วยไข่ได้ถึง 7 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมมีอายุการวางจำหน่าย 5 วัน อีกทั้งกล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 0.004% สามารถรักษาน้ำหนักสดได้ดีที่สุดและไม่รบกวนกระบวนการสุกของกล้วยไข่ในระหว่างการขาย เนื่องจากพบการสุกไม่แตกต่างกัน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสี (ค่า L* a* b*) น้อยกว่ากรรมวิธีอื่น พบความแน่นเนื้อมากกว่ากรรมวิธีควบคุมทางสถิติตั้งแต่วันที่ 6 ถึง 12 ของการเก็บรักษา มีปริมาณ TSS ในระดับต่ำ และรักษาปริมาณ TA ในระดับสูง การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี พบว่า กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 0.004% สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และรักษากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ในระดับสูง และพบการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในระดับต่ำ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase พบว่า กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบกะเพราในรูปอิมัลชัน 0.004% พบกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ต่ำที่สุด และ พบว่า กล้วยไข่ที่แช่ด้วยน้ำมันหอมระเหยใบพลูในรูปอิมัลชัน 0.004% พบกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ต่ำที่สุด ดังนั้นการใช้น้ำมันหอมระเหยใบกะเพรา 0.004% อาจช่วยควบคุมการตกกระของกล้วยไข่รวมถึงรักษาคุณภาพของกล้วยไข่และยืดอายุการวางจำหน่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร. 2542. **เอกสารคู่มือการปลูกพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2562. **การลดการสูญเสียกล้วย.** นนทบุรี : เกินคุ้ม มิเดีย.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2554. **การวิเคราะห์คุณภาพสมุนไพรด้วยวิธีทีแอล ซี.** นนทบุรี : โรงพิมพ์ สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

กฤษณ์ สงวนพวก. 2560. การใช้เอทานอลเพื่อลดการตกกระของกล้วยไข่. **วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ.** 11(2) : 1-12.

กนกวรรณ ถนอมจิตร. 2536. **การศึกษาการผลิตน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์ Annonaceae บางชนิด.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2542. **สรีวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

ฐาปนีย์ หงส์รัตนาวรกิจ. 2550. **น้ำมันหอมระเหยและการใช้ในสุคนธบำบัด**. กรุงเทพ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** กรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาญชัย ศรีพร และ กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2551. ผลของอายุกล้วยหักมุกต่อสมบัติทางกายภาพของผลกล้วยและสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วย. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า.** 26(3): 74-82.

ดนัย บุณยเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ทิฐิมา ภาคภูมิ กัลยาภรณ์ จันตรี และ อรพิณ โกมุติบาล. 2559. ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์และสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบพลูเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องสำอาง. **วารสารวิจัยมสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 9(1) : 1-20.

เทคโนโลยีชาวบ้าน. **เทคนิคการผลิตกล้วยไข่คุณภาพเพื่อการส่งออก.** 2561. [Online]. Available: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_87784.

เทคโนโลยีชาวบ้าน. **กล้วยไข่ผลไม้ยอดนิยมขายได้ทั้งในและต่างประเทศ.** 2562. [Online]. Available: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_128125.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรนุช เร่งวัฒนะชัย, ภูริวัฏ ลิขิตลือชา และ สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2553. การลดการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหอมแช่เยือกแข็งเพื่อผลิตสมูตตี้. **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.

เนตรนภา เมยกลาง และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 14(4) : 69-79.

ประภัสสร วีระพันธ์ และ วัชรี คุณกิตติ. 2554. คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยในหลอดทดลอง. **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน.** 7(3): 30-38.

เปมิกา พรหมแก้ว, ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, อภิรดี อุทัยรัตนกิจ, เฉลิมชัย วงษ์อารี และ วาริช ศรีละออง. 2560. ผลการใช้ฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครต่อการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ของกล้วยไข่. **วิทยาศาสตร์เกษตร.** 48(3 พิเศษ) : 201-204.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2560. **Emulsion(อิมัลชัน).** [Online]. Available : https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0674/emulsion- อิมัลชัน.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2562. **Enzymatic browning reaction / ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์.** [Online]. Available :http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0679/enzymatic-browning-reaction-ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์.

เพชรรัตน์ เนตรลักษณ์, ดวงกมล ศศิวัฒนพร และ วชิรญา อิ่มสบาย. 2559. ผลของออกซิเจนความเข้มข้นสูงต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการตกกระในกล้วยไข่. **จดหมายข่าว ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว**. 15(2): 1-3.

พัชรากร รัตนภูมี. 2543. **เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในใบยางพารา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ, เทพปัญญา เจริญรัตน์, สุเปญญา จิตตพันธ์ และ นวลกมล อำนวยสิน. 2563. การพยากรณ์ระยะการสุกของกล้วยหอมทองโดยใช้การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 9(2): 287-297.

มยุรี กระจายกลาง และ สุธิกา สมวรรณ. 2551. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วยไข่. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 39(3 พิเศษ) : 9-12.

ยุวรัตน์ เงินเย็น วิจิตรา เดชวีระพาณิชย์ กนกพร ภาราดามิตร วรัญญา ขาวผ่อง และ พิมพิลาศ แก่นมั่น. 2556. การลดกลิ่นของทุเรียนโดยใช้น้ำมันหอมระเหยที่กลั่นได้จากกะเพรา. **วารสารเกษตร.** 29(2): 163-168.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี และ เนาวรัตน์ กองคำ. 2565. การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยสารสกัดรำข้าวหอมมะลิสุรินทร์ (กข 15) ในผลมะเขือยาวสไลด์สด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 8(1) : 41-55.**

วรรธนมณฑน์ ชาญจารุจิตร์, อนุวัตร แจ้งชัด และ กมลวรรณ แจ้งชัด. 2553. การประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับสารเคลือบผิวเชลแลคเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (Mangifera indica). **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 41(1): 137-140.

ศุภรัตน์ ดวนใหญ่, สุชาดา มานอก และ เพชรน้ำผึ้ง รอดโพธิ์. 2563. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรต่อจุลินทรีย์ก่อโรคผิวหนัง. **วารสารวิทยาศาสตร์มข.** 48(1): 76-85.

ศรมน สุทิน. 2559. วิตามินกับอนุมูลอิสระ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.** 2(1) : 80-92.

สรัล ยิ้มมงคล. 2561. **การเตรียมและตรวจวัดวัสดุดูดซับเอทิลีนจากซีโอไลต์/โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสำหรับกระบวนการขนส่ง กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*) หลังการเก็บเกี่ยว.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สายชล เกตุษา. 2549. **การใช้สารเคลือบผิวลดการตกกระของผลกล้วยไข่สุก.** [Online]. Available: https://kukr.lib.ku.ac.th/db/BKN_AGRI/search_detail/result/308453.

สายชล เกตุษา. 2550. **วิทยาการกล้วยไข่ตกกระความรู้ใหม่ที่ไม่ใช่โรค.** [Online]. Available: https://www.ryt9.com/s/prg/114627.

สิรวิชญ์ โชติกะคาม, อธิวัฒน์ ชุ่มแย้ม และ กอบเกียรติ แสงนิล. 2557. การเปลี่ยนแปลงการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชันของเมมเบรนระหว่างการสุกของผลกล้วยน้ำว้า. **วิทยาศาสตร์เกษตร**. 45(3/1 พิเศษ) :113-116.

สิรวิชญ์ โชคกะคาม. 2562. **ผลของเมทิลซาลิไซเลตต่อความเสียหายออกซิเดชัน และวัฏจักรแอสคอร์เบท-กลูตาไทโอนที่เกี่ยวข้องกับการตกกระของผลกล้วยไข่ระหว่างการเก็บรักษา.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สิริรัตน์ พานิช, วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ และ อัญชนา ขัตติยะวงศ์. 2564. **ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมของน้ำสกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบพลู.** รายงานวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุภัคชนม์ คล่องดี. 2557. ระบบอิมัลชันในอาหารและความคงตัว. **วิชาการอาหาร**. 42(4) : 287-290.

สุริยัณห์ สุภาพวานิช, พัชรี บุญมี และ วาสนา ทองวัดเพ็ง. 2557. ผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกและการลวกต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในไชรัปกล้วยไข่. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า.** 32(2) : 32-40.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมคิด ใจตรง, พิชญานิล โคตรลุน และ สุชาวดี บัวพก. 2564. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายภาพ-เคมีของกล้วยทิพรส. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 52(2) : 36-40.

อดิศร จารูญ, พรรณิภา ยั่วยล และ บุษรา จ้อยร่อย. 2558. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกล้วยหินและกล้วยเล็บมือนาง. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 2(1) : 38-42.

อานนท์ เขียวคำ, อัครัช รอดคลองตัน และ ภคมน จิตประเสริฐ. 2557. กิจกรรมการต้านสารอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นด้วยน้ำ. หน้า 232-238. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 52 สาขาอตสาหกรรมเกษตร.** กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำพล ไมตรีเวช, ณรงค์ สาริสุต, ดวงมณี มณีโรจน์ภักดี และ วสุ วิฑูรย์สฤษฏ์ศิลป์. 2556. **การพัฒนาอนุภาคนาโนและระบบนำส่ง ตอนที่ 4. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.** [Online]. Available: http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/170.

Adams, J.B. and Brown, H.M. 2007. Discoloration in Raw and Processed Fruits and Vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** 47: 319-333.

Amri, F.S.A and Hossain, M.A. 2018. Comparison of total phenols, flavonoids and antioxidant potential of local and imported ripe bananas. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences.** 5 : 245-251.

Amrani, M.A., Alawi, A.A. and Marhobi. I.A. 2020. Assessment of enzymatic browning and evaluation of antibrowning methods on dates. **International Journal of Food Science.** 6 : 1-9.

Andersen, M.Q. and Markham, R.K. 2006. **Flavonoids Chemistry, Biochemistry and Applications.** Florida: CRC Press Taylor and Francis Group.

Barradas, T.N. and Silva, K.G.D.H. 2020. Nanoemulsions of essential oils to improve solubility, stability and permeability: a review. **Environmental Chemistry Letters.** 19 : 1153-1171.

Botanicessence. 2016. **Pure essential oils.** [Online]. Available: https://www.botanicessence.com/essential-oil/home/knowledge.jsp.

Bugaud, C., Pascaline, A., Daribo, M. and Brillouet, J. 2009. Comparison of the physicochemical characteristics of a new triploid banana hybrid, FLHORBAN 920, and the Cavendish variety. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 89 : 407-413.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bugaud C., Deverge E, Daribo M.O., Ribeyre, F., Fils-Lycaon, B. and Mbéguié-A-Mbéguié, D. 2011. Sensory characterisation enabled the first classification of dessert bananas. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 91 : 992–1000.

Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I. and Espin, J.C. 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rats-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 50 : 3015-3023.

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.

Fatemeh, S.R., Saifullah, R., Abbas, F.M.A. and Azhar, M.E. 2012. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness. **International Food Research Journal**. 19(3) : 1041-1046.

Fernando, H. R. P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Boonyaritthongchai, P. and Jitareerat, P. 2014. Changes in antioxidant properties and chemical composition during ripening in banana variety 'Hom Thong' (AAA group) and 'Khai' (AA group). **International Food Research Journal.** 21(2) : 749-754.

Goodenough, P.W., Prosser, I.M. and Young, K. 1985. NADP-linked malic enzyme and malate metabolism in ageing tomato fruit. **Phytochemistry.** 24 : 1157-1162.

Huang, H., Zhu, Q., Zhang, Z., Yang, B. and Duan, X. 2013. Effect of oxalic acid on antibrowning of banana *(Musa spp*., AAA group, cv. 'Brazil') fruit during storage. **Scientia Horticulturae**. 160 : 208-212.

Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney C.F. and Prange, R.K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta.** 207(4) : 604-611.

Kamdee, C., Ketsa, S. and Doorn, W.G.V. 2009. Effect of heat treatment on ripening and early peel spotting in cv. Sucrier banana. **Postharvest Biology and Technology.** 52 : 288–293.

Ketsa, S. 1995. **A study on mechanism of senescent spotting and its control in ripe 'Kluai Khai'.** Final Report. The National Research Council of Thailand, Bangkok.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Koc, A., Gasch, A.P., Rutherford, J.C., Kim, H.Y. and Gladyshev, V.N. 2004. Methionine sulfoxide reductase regulation of yeast lifespan reveals reactive oxygen species-dependent and - independent components of aging. **Proceedings of the National cademy of Scieneces of the United States of America**. 101(21) : 7999-8004.

Lóay, A.A. and Dawood, H.D. 2017. Minimize browning incidence of banana by postharvest active chitosan/PVA combines with oxalic acid treatment to during shelf-life. **Scientia Horticulturae**. 226 : 208-215.

Mattoo, A.K., Murata, T., Pantastico, E.B., Chachin, K., Ogata, K. And Phan, C.T. 1975. **Chemical changes during ripening and senescence In: Pantastico, E.B. Ed. Post-Harvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruit and Vegetables**, The AVI Pub. Co. Inc., Westport, Connecticut, pp.103–127.

Mcclements, D.S. 2005. **Food Emulsion**. Principles, Practice and Techniques. 2 ed. CRC Press, Boca Raton.

Mendoza, F. and Aguilera, J.M. 2004. Application of image analysis for classification of ripening bananas. **Journal of Food Science.** 69 : 471-477.

Milani, A., Jouki, M. and Rabbani, M. 2020. Production and characterization of freeze-dried banana slices pretreated with ascorbic acid and quince seed mucilage: physical and functional properties. **Food Science and Nutrition.** 8 : 3768-3776.

Moazeni, M., Davari, A., Shabanzadeh, S., Akhtari, J., Saeedi, M., Mortyeza-Semnani, K., Abastabar, M., Nabili, M., Moghadam, F.H., Roohi, B., Kelidari, H. and Nokhodchi, A. 2021. *In vitro* antifungal activity of *Thymus vulgaris* essential oil nanoemulsion. **Journal of Herbal Medicine.** 28 : 100452.

Mousavizadeh, S.J. and Sedaghathoor, S. 2011. Peroxidase activity in response to applying natural antioxidant of essential oils in some leafy vegetables. **Australian Journal of Crop Science.** 5 : 494-499.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mousavizadeh, S.J., Sedaghathoor, S. and Khorami, H. 2011. Essential oils as reducing agents of cabbage peroxidase. **Scientia Horticulturae.** 128 : 388-392.

Nguyen, T. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. **Postharvest Biology and Technology**. 30 : 187–193.

Pathare, P.B. , Opara, U.L. and Al-Said, F.A.J. 2013. Colour Measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**. 6 : 36–60.

Phillips, K.M., Council-Troche, M., McGinty, R.C.,Rasor, A.S., Tarrago-Trani, M.T. 2016. Stability of vitamin C in fruit and vegetable homogenates stored at different temperatures. **Journal of Food Composition and Analysis.** 45 : 147-162.

Pourcel, L., Routaboul, J.M., Cheynier, V., Lepiniec, L. and Debeaujon, I. 2007. Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. **Trends in Plant Science.** 12 : 29–36.

Prakash, P. and Gupta, N. 2005. Therapeutic uses of *Ocimum sanctum* Linn (Tulsi) with a note on eugenol and its pharmacological actions: a short review. **Indian Journal of Physiology and Pharmacology.** 49(2) : 125-131.

Ramírez-Sánchez, M., Huber, D., Vallejos, C.E. and Kelley, K. 2018. Physiological, molecular and ultrastructural analyses during ripening and over-ripening of banana (*Musa* spp., AAA group, Cavendish sub-group) fruit suggest characteristics of programmed cell death. **Journal of the Science of Food and Agriculture.** 98 : 609-617.

Remmal, A., Bouchicki, T., Tantaoui-Elaraki, A. and Et-tayebi, M. 1993. Inhibition of antimicrobial activity of essential oils by Tween 80 and ethanol in liquid medium. **Journal de pharmacie de Belgique.** 48 : 352-356.

Robards, K., Pretzel, P.D. Tucker, G. Swatsitang, P. and Glover. W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidant processes in fruits. **Food Chemistry.** 66 : 41-436.

Saimroommate. 2020. **กรดออกซาลิก (Oxalic acid) การผลิต การใช้ประโยชน์ และพิษต่อร่างกาย.**
[Online]. Available : https://siamroommate.com/กรดออกซาลิก/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schubert, H., Engel, R. and Kempa, L. 2006. Principles of Structured Food Emulsions: Novel formulations and trends. **International Union of Food Science and Technology.** 1-15.

Schramm, L.L., Stasiuk,E.N. and Marangoni, D.G. 2003. Surfactants and their applications. **Annual Reports Section C (Physical Chemistry).** 99 : 3-48.

Seymour, G.B., Taylor, J.E. and Tucker, G.A. 1993. **Biochemistry of Fruit Ripening**. London : Chapman & Hall.

Seymour, G.B., Thompson, A.K. and John, P. 2008. Inhibition of degreening in the peel of bananas ripened at tropical temperatures. I. Effect of high temperature on changes in the pulp and peel during ripening. **Annals of Applied Biology.** 110 : 145-151.

Selvaraj, Y. and Kumar, R. 1989. Pyruvate kinase activity in ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **Journal of Food Science and Technology**. 26 : 228-229.

Serrano, M., Mart´ınez-Romero, D., Castillo, S., Guille´n, F. and Valero, D. 2005. The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 6 : 115-123.

Shiwakoti, S., Saleh, O., Poudyal, S., Barka, A., Qian, Y. and Zheljazkov, V.D. 2017. Yield, composition and antioxidant capacity of the essential oil of sweet basil and holy basil as influenced by distillation methods. **Chemistry & Biodiversity.** 14 : 1-6.

Shi, Y., Zhang, M., Chen, K. and Wang, M. 2022. Nano-emulsion prepared by high pressure homogenization method as a good carrier for Sichuan pepper essential oil: Preparation, stability, and bioactivity. **LWT Food Science and Technology.** 154 : 112779.

Singh, R.D., Kapila, S. Ganesan, N.G. and Rangarajan, V. 2022. Preparation, stability and biological activity of essential oil-based nano emulsions: A comprehensive review. **OpenNano.** 8 : 1-21.

Tapre, A.R. and Jain, R.K. 2012. Study of advanced maturity stages of banana. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies.** 1 : 272-274.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tongpoolsomjit, K., Grandmottet, G., Boonruangrod, R., Krueajan, A. and Viyoch, J. 2020. Determination of β-carotene content in *Musa* AA pulp (Kluai Khai) at different ripening stage and harvest period in Thailand. **Emirates Journal of Food and Agriculture.** 32(6) : 443-452.

Toivonen, P.M.A. 1992. The reduction of browning in parsnips. **Journal of Horticultural Science.** 67(4) : 547-551.

Vimala, K., Mohan, Y.M., Varaprasad**,** K., Redd, N.N., Ravindra, S., Naidu, N.S. and Raju, K.M. 2011. Fabrication of curcumin encapsulated chitosan-PVA silver nanocomposite films for improved antimicrobial activity. **Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology**. 2 : 55-64.

Vu, H.T., Scarlett, C.J. and Vuong, Q.V. 2019. Changes of phytochemicals and antioxidant capacity of banana peel during the ripening process with and without ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**. 253 : 255-262.

Yamashita, Y., Myahara, R. and Sakamoto, K. 2017. Emulsion and emulsification technology. **Cosmetic Science and Technology.** 489-506.

Yang, S., Su, X., Prasad, K.N., Yang, B., Cheng, G., Chen, Y., Yang, E. and Jiang, Y. 2008. Oxidation and peroxidation of postharvest banana fruit during softening. **Pakistan Journal of Botany**. 40(5) : 2023-2029.

Yazgan, H., Ozogul, Y. and Kuley, E. 2019. Antimicrobial influence of nanoemulsified lemon essential oil and pure T lemon essential oil on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. **International Journal of Food Microbiology.** 306(1) : 108266.

Yoruk, R., Yoruk, S., Balaban, M.O. and Marshall, M.R. 2004. Machine vision analysis of antibrowning potency for oxalic acid: a comparative investigation on banana and apple. **Journal of Food Science.** 69 : 1365–2621.

Youryon, P. and Supapvanich, S. 2017. Physicochemical quality and antioxidant changes in 'Leb Mue Nang' banana fruit during ripening. **Agriculture and Natural Resources**. 51 : 47-52.

Zheng, X. and Tian, S. 2006. Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. **Food Chemistry**. 96 : 519–523.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhu, L., Hu, W., Murtaza, A., Iqbal, A., Li, J., Zhang, J., Li, J., Kong, M., Xu, X. and Pan, S. 2022. Eugenol treatment delays the flesh browning of fresh-cut water chestnut (*Eleocharis tuberosa*) through regulating the metabolisms of phenolics and Reactive oxygen species. **Food Chemistry.** 14 : 1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ- นามสกุล(ภาษาไทย) นางสาวนิภาวรรณ มากบริบูรณ์

ชื่อ- นามสกุล(ภาษาอังกฤษ) Miss Nipawan Makboriboon

วัน เดือน ปีเกิด 21 เมษายน พ.ศ. 2539

ที่อยู่ 3/11 หมู่ 4 ตำบล ลำลูกกา อำเภอ ลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12150

โทรศัพท์ 0873655530

E-mail address 61604049@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา (2561) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์
เกรดเฉลี่ย 3.15 คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

นิภาวรรณ มากบริบูรณ์ และ มณทินี ธีรารักษ์. 2564. การประเมินผลการยับยั้งของน้ำมันหอมระเหยต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในกล้วยไข่. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 22. วันที่ 25 มีนาคม 2564 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 437.

Makboriboon, N., Teerarak, M. and Saetiew, K. 2023. Changes in the activity of enzymes associated with enzymatic browning and chemical composition during *Musa sapientum* Linn. 'Kluai Khai' banana fruit ripening. International Journal of Agricultural Technology 2023 Vol. 19(4) : 1657-1668.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้