

การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน
ต่อการยืดอายุปักแจกันใบเฟินนาคราช

PREPARATION OF GINGER ESSENTIAL OIL IN MICRO AND NANOEMULSION
AND THEIR EFFECTIVENESS ON PROLONGING VASE LIFE OF
DAVALLIA SOLIDA (G. FORST.) SW. LEAVES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566
KMITL- 2023-AG-M-065-405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF GINGER ESSENTIAL OIL IN MICRO AND NANOEMULSION
AND THEIR EFFECTIVENESS ON PROLONGING VASE LIFE OF
DAVALLIA SOLIDA (G. FORST.) SW. LEAVES



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
KMUTL-2023-AG-M-065-405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากชิงในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน ต่อการยืดอายุปักแจกันใบเฟินนาคราช
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเพียงภัสสร โค้ววิสัยแสง
รหัสประจำตัว	59604047
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มณฑินี อีรารักษ์

บทคัดย่อ

เฟินนาคราช (*Davallia solida* (G. Forst.) SW.) เป็นไม้ตัดใบที่นิยมนำมาจัดช่อร่วมกับดอกกล้วยไม้และดอกไม้ อย่างไรก็ตาม การใช้งานใบเฟินนาคราชยังมีข้อจำกัด จากการเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากใบเหลืองและเหี่ยวค่อนข้างเร็ว มีอายุการใช้งานสั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชหลังเก็บเกี่ยว ศึกษาการเตรียมเกิดอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิงโดยวิธีไทเทรตในน้ำ และประเมินประสิทธิภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงในการยืดอายุปักแจกันหลังการเก็บเกี่ยวของเฟินนาคราช ในการทดลองใช้ใบเฟินนาคราช ใบมีสีเขียวและสด (ระยะที่ 1) ปักแจกันในน้ำกลั่น โดยแบ่งเป็น 5 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ใบมีสีเขียวและสด (เริ่มต้นการทดลอง) ใบเริ่มมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ ใบมีสีเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ ใบแห้งและสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ และระยะที่ 5 ใบแห้งและสูญเสียความเขียว 100 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละระยะขึ้นอยู่กับการพัฒนาของใบเฟินระหว่างการปักแจกัน พบว่า ใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยว น้ำหนักสดของเฟินลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกระยะการปักแจกัน ในระยะที่ 3-5 พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า ใบเฟินระยะที่ 1 พบปริมาณมาลอนไดอิลดีไฮด์ต่ำกว่าใบเฟินนาคราชระยะที่ 2-5 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่วระยะที่ 3 ถึงการเสื่อมสภาพในระยะที่ 5

การใช้สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ทำให้เกิดระบบอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงที่มีความเสถียร ขนาดอนุภาคของอิมัลชันมีขนาดลดลงเมื่อใช้การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (ultrasound) และเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (High-pressure homogenization) ทำให้อนุภาคน้ำมันลดลงอยู่ในระดับไมโครและนาโนอิมัลชันตามลำดับ และยังพบว่านาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงที่ลดขนาดด้วยเครื่อง High Pressure Homogenization ใช้ความดัน 15,000 psi จำนวน 2 รอบ มีขนาดอนุภาคน้ำมัน เท่ากับ 53.8-76.4 nm และศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ -16.39 ถึง -37.68 mV เมื่อทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหย, ไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง เปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยจากชิงบริสุทธิ์ ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากชิงในรูปอิมัลชันทุกสูตรมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าน้ำมันหอมระเหยจากชิงบริสุทธิ์อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง, ไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิว Tween40 ร่วมกับ Span20 มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคลิเธเร ABTS สูงสุด และนาโนอิมัลชันสูตรที่เตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิว Tween20 ร่วมกับ Span20 และ Tween60 ร่วมกับ Span20 เพิ่มประสิทธิภาพในการแย่งจับโลหะไอออนของน้ำมันหอมระเหยจากขิงได้ น้ำมันหอมระเหยขิงในอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิว Tween20 ร่วมกับ Span20 มีความคงตัวที่ดี ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระปานกลาง ได้นำมาทดสอบอายุปักแจกันของใบเฟินนาคราชพบว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ความเข้มข้นต่ำ 5 ppm และไมโครอิมัลชันที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm ช่วยยืดอายุการปักแจกันของใบเฟินนาคราชได้ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีสูง พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามอายุการปักแจกันของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิงที่ความเข้มข้นสูง 10 ppm ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ผลการศึกษานี้แสดงว่าการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การลดลงของน้ำหนักรีด ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสามารถช่วยยืดอายุปักแจกันของใบเฟินนาคราชได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วย

คำสำคัญ: เฟินนาคราช, น้ำมันหอมระเหย, ไมโครอิมัลชัน, นาโนอิมัลชัน, สารต้านอนุมูลอิสระ

Thesis	Preparation of ginger essential oil in micro and nanoemulsion and their effectiveness on prolonging vase life of <i>Davallia solida</i> (G. Forst.) Sw. Leaves
Student	Miss Piangpassorn Kowwilaisang
Student ID.	59604047
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Montinee Teerarak

ABSTRACT

Rabbit's foot fern (*Davallia solida* (G. Forst.) Sw.) is traded as cut floral greens and commonly used in orchid flower arrangements and bouquets; however, its use is limited by its relatively rapid postharvest yellowing and desiccation. The objectives of this research were to investigate the biochemical changes during frond senescence in rabbit's foot fern after harvest, to study the formation of ginger essential oil emulsion prepared by aqueous titration method and to determine the oil's effectiveness in extending the postharvest quality of rabbit's foot fern. Freshness and green fronds (stage 1) were used in this experiment and were held in vase containing distilled water. Development of rabbit's foot fern was divided into 5 stages viz., stage 1 – freshness and green frond (at the beginning of experiment), stage 2 – yellow frond area of 25%, stage 3 – yellow frond area of 50%, stage 4 – desiccation and chlorosis on 75% of frond area and stage 5 – desiccation and chlorosis on 100% of frond area, depending on their development during the vase period. The results showed that fresh weight of fronds continuously decreased at all stages during the vase period. The frond showed a significantly lower level of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid content at stages 3–5. In addition, fronds in stage 1 showed lower malondialdehyde content than fronds in stages 2–5 and H₂O₂ content showed a rapid increase at stages 3 until senescence (stage 5).

The coarse emulsions containing ginger essential oil developed by Tween20, Tween40, Tween60 or Tween80 together with Span20 could provide the stability of emulsion. In general, the average droplet size of coarse emulsions was reduced by ultrasound and high shear homogenization, leading to microemulsion and nanoemulsion, respectively. The formulated nanoemulsions by High Pressure Homogenizer with pressure at 15000 psi, 2 cycles showed oil droplets size of 53.8-76.4 nm (naomemulsion) and

zeta potential of -16.39 to -37.68 mV. The antioxidant ability of the formulated emulsion and pure essential oil was tested and the DPPH radical scavenging ability of all emulsion formulas was significantly higher than that of pure essential oil. The coarse emulsion, microemulsion and nanoemulsion by utilizing Tween40 together with Span20 showed the highest ABTS radical scavenging ability. Moreover, the formulated nanoemulsion developed by Tween20 or Tween60 together with Span20 enhanced the metal chelating efficiency of ginger essential oils. Ginger essential oil in emulsions prepared by Tween20 together with Span20 showed good physical stability, small droplet size and moderate antioxidant activity which was selected for evaluation of vase life of rabbit's foot fern. The ginger essential oil in nanoemulsion at low concentration of 5 ppm and microemulsion at concentrations of 5 and 10 ppm extended the vase life of rabbit's foot fern. Under these treatments, fronds exhibited higher chlorophyll a and b contents, lower malondialdehyde content, and lower hydrogen peroxide content compared to control. However, vase life of rabbit's foot fern treated with ginger essential oil in nanoemulsion at higher concentration of 10 ppm had no significant difference compared to control.

Taken together, the above results indicated that rabbit's foot fern senescence was related to the increase of malondialdehyde and H₂O₂ content and the decrease of fresh weight, chlorophyll and carotenoid content. The formulated emulsion significantly enhanced the antioxidant activity of ginger essential oil and the ginger essential oil formulated microemulsion or nanoemulsion prolonged the vase life of rabbit's foot fern in dose dependent manner.

Keywords: Rabbit's foot fern; Essential oil; Microemulsion; Nanoemulsion; Antioxidant

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ข้อคิด ความรู้และประสบการณ์มากมายเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ตัวข้าพเจ้า บุคคลหลายฝ่ายที่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยังมีดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มณฑินี อธิราชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งให้ความช่วยเหลือ ถ่ายทอดความรู้ ให้คำชี้แนะแนวทาง ตลอดจนขัดเกลาและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เดชภักดีตนมงคล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จำรูญ เล้าสินวัฒนา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ครามโชติ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงยิ่ง ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจน ช่วยเพิ่มเติมเสริมความรู้ทางวิชาการให้จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ นายพรชัยและนางโสภิตา ไคว์วิสัยแสง บิดาและมารดาผู้เป็นที่เคารพรักยิ่งของข้าพเจ้าที่เป็นผู้อยู่เบื้องหลังคอยสนับสนุนเงินค่าเทอมและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ตลอดจนคอยให้กำลังใจจนข้าพเจ้าสามารถจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์ได้

ขอขอบคุณนายนพรุจ สุ่มหิรัญ ที่ช่วยแก้ไข แนะนำแนวทางตลอดจนเพิ่มเติมให้ความรู้ทางวิชาการ นางสาวณัฐกานต์ ประกอบแก้ว นางสาวธารทิพย์ ทาทอง นางสาวกนกพร แสงเพิ่มและเพื่อน ๆ ที่เป็นผู้อยู่เบื้องหลัง คอยให้การช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนเป็นทั้งแรงงานและแรงใจทำให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ผู้ทำงานวิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับทำงานวิจัยจนจบการวิจัย

เพียงภัสสร ไคว์วิสัยแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สถานที่ดำเนินการ.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เพน.....	3
2.2 การเสื่อมสภาพของไบเพน.....	4
2.3 การยืดอายุไม่ไบหลังการเก็บเกี่ยว.....	6
2.4 น้ำมันหอมระเหยจากขิง.....	7
2.5 อิมัลชัน.....	8
2.6 การลดขนาดอนุภาค.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	11
3.2 วิธีการดำเนินการ.....	11
3.2.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของไบ เพนนาคราช.....	11
3.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสารชนิดของลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดระบบอิมัลชันกับ น้ำมันหอมระเหยจากขิง.....	14
3.2.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอม ระเหยจากขิง.....	15
3.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความเข้มข้นของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอม ระเหยจากขิงต่ออายุปักแจกันของไบเพนนาคราช.....	17
3.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยขิงกับสารลดแรงตึงผิวต่ออายุ การใช้งานของไบเพนนาคราช และการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	20
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณสารชีวเคมีบาง กลุ่มของไบเฟินนาคราช.....	20
4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดอิมัลชันกับน้ำมันหอม หอมระเหยจากขิงและความเสถียรของระบบอิมัลชัน.....	24
4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหย จากขิง.....	35
4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความเข้มข้นของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหย จากขิงต่ออายุปักแฉกกันของไบเฟินนาคราช.....	41
4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยขิงกับสารลดแรงตึงผิวต่ออายุการใช้ งานของไบเฟินนาคราช และการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม.....	45
บทที่ 5 วิจัยผลการทดลอง.....	56
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	63
บรรณานุกรม.....	65
ประวัติผู้เขียน.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	อายุปักแฉกกันและการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของทุกระยะของการเชื่อมสภาพใน ใบเฟินนาคราช.....20
4.2	การสูญเสียน้ำหนักและการดูดน้ำสะสมของทุกระยะของการเชื่อมสภาพในใบเฟินนาคราช....21
4.3	ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้ง.....22
4.4	ความสามารถของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH.....23
4.5	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85.....28
4.6	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween40 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85.....29
4.7	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween60 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85.....30
4.8	ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween80 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85.....31
4.9	ขนาดของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งก่อนลดขนาดและหลังลดขนาดผ่านเครื่องลด ขนาด Sonicator bath และเครื่องลดขนาดอนุภาค High Pressure Homogenizer.....33
4.10	ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งก่อนลดขนาดและ หลังลดขนาด.....33
4.11	ดัชนีการกระจายขนาดอนุภาคน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งก่อนลดขนาดและหลังลดขนาด ผ่านเครื่องลดขนาด Sonicator bath และเครื่องลดขนาดอนุภาค High Pressure Homogenizer.....35
4.12	ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งด้วยวิธี DPPH ของ น้ำมันหอมระเหยจากซึ่งในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน.....36
4.13	ความสามารถในแย่งจับกับโลหะไอออนด้วยวิธี Metal chelating activity ของน้ำมัน หอมระเหยจากซึ่งในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน.....38
4.14	ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งด้วยวิธี ABTS ของ น้ำมันหอมระเหยจากซึ่งในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน.....40
4.15	ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งต่ออายุปักแฉกกันของใบเฟินนาคราช..44
4.16	อายุปักแฉกกันของใบเฟินนาคราชที่ปักแฉกกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหย จากซึ่งเปรียบเทียบกับชุดควบคุม.....47
4.17	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแฉกกันความ เข้มข้น 0.005% โดยวิธี DPPH.....55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันและนาโนอิมัลชัน.....9
4.1	ลักษณะการเสื่อมสภาพของไบเฟินนาคราชในระยะที่ 1 - 5.....20
4.2	ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในไบเฟินนาคราชและปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในไบเฟินนาคราช.....23
4.3	ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหอมระเหยซึ่งที่ผสมกับส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม.....24
4.4	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกันก่อนลดขนาดและหลังลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath และ เครื่อง High Pressure Homogenizer.....34
4.5	ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราชปักแจกัน 6 วัน41
4.6	ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซึ่งต่อปริมาณการดูดน้ำของไบเฟินนาคราชปักแจกัน 6 วัน.....42
4.7	ผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซึ่ง.....45
4.8	อัตราการดูดน้ำของไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซึ่ง.....46
4.9	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายนอกของไบเฟินนาคราชหลังปักแจกัน.....48
4.10	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อน้ำหนักแห้งในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....49
4.11	ปริมาณคลอโรฟิลล์บีต่อน้ำหนักแห้งในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....50
4.12	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่อน้ำหนักแห้งในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....51
4.13	ปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อน้ำหนักแห้งในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....51
4.14	ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....52
4.15	ปริมาณมาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในไบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12.....53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเขตร้อน เหมาะแก่การปลูกไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ตัดใบหรือไม้ใบ (cut foliage) เพราะไม้ใบจะสามารถเจริญงอกงามได้ดี อีกทั้งไม้ใบของไทยมีมากมายหลายชนิดกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งใน และต่างประเทศ เนื่องจากการส่งออกไม้ตัดใบของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม้ตัดใบที่ผลิตและปลูกในประเทศไทยนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น มอนสเตอร์ (monstera), กวนอิม (lucky bamboo), ซานาดู (xanadu) มรกตแดง (red duchess), หูช้าง (undulatum), เอื้องไผ่ลายดอก (costus folwer), ก้ามกุ้ง (florida) เล็บครุฑใบผักชี (quinque folia), หมากเหลือง (yellow palm) หมากผู้หมากเมีย (good luck plant), ฟิโลเดนดรอน (Philodendron), เฟินใบมะขาม (swordn ferns) และเฟินนาคราช (*Davallia solida* (G. Forst.) SW.) เป็นต้น (สุรเดช. 2560) ในไม้ตัดใบกลุ่มเฟิน เฟินใบมะขามเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในไทยและต่างประเทศเป็นอย่างมาก เฟินใบมะขาม มีลักษณะใบยาวรูปขอบขนาน ปลายเรียวแหลม คล้ายหอก เป็นใบประกอบขนนก ใบย่อยมีมากกว่า 50 จนถึง 100 คู่ ใบเงาสวยงาม ทนทานต่อสภาพแวดล้อม (ม.ล.จารุพันธ์และปิยเกษตร. 2550) เป็นไม้ตัดใบที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งเป็นส่วนประกอบของการจัดดอกไม้และกล้วยไม้ในงานพิธีต่าง ๆ แม้เฟินใบมะขามจะมีลักษณะใบที่สวยงาม มีอายุการปักแจกันนานแต่เฟินใบมะขามเมื่อเริ่มเสื่อมสภาพ ใบย่อย จะร่วงหล่น ทำให้ไม่สวยงาม นอกจากเฟินใบมะขาม แล้วยังมีเฟินนาคราชที่ส่งออกด้วยเช่นกัน เฟินนาคราชมีลักษณะ ก้านใบหนา แข็งแรง ก้านใบยาว แข็งแรงปักแจกันได้ดีใบขนาดใหญ่ แต่ออกเป็นรูปสามเหลี่ยม มีความหนาเป็นมัน ทำให้ทนทานต่อการปักแจกันหรือการร่วมกับดอกกล้วยไม้เพื่อส่งไปต่างประเทศ และเป็นที่ต้องการในยุโรปหลายประเทศ ข้อดีอีกประการหนึ่งในใบเฟินนาคราช ใบเมื่อหมดอายุแล้วจะเหลืองเหี่ยวแห้งไปทั้งใบไม่ทิ้งใบย่อยให้สกปรกรกรุงรังใบเฟินนาคราชจึงเป็นไม้ตัดใบอีกทางเลือกหนึ่ง

ซึ่งเป็นเครื่องเทศที่มีกลิ่นฉุนแรง มีความเผ็ดร้อน แต่มีความหอมเฉพาะตัว โดยในขิงจะมีน้ำมันหอมระเหยอยู่มาก ซึ่งน้ำมันหอมระเหยของขิงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งน้ำมันหอมระเหยขิงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ และเชื้อราได้ (Aliakbarlu *et al.* 2013) วทันยาและคณะ (2557) ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระของขิงแก่ที่สกัดด้วยเอทานอล มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 84.81% และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ไฮดรอกซิลของน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่สกัดด้วยเอทานอล 76.00% จากการศึกษา ก่อนหน้านี้นี้ของมณฑินีและจำรุณ (2558) พบว่าเฟินนาคราชที่ถูกการพืชรังในน้ำมันหอมระเหยขิง (ในรูปอิมัลชัน) แล้วย้ายมาปักต่อในน้ำมันหอมระเหยขิงมีอายุการปักแจกันนานที่สุด เฉลี่ย 12.6 วัน มีอัตราการดูดน้ำมากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่น มีอายุการปักแจกันเฉลี่ย 7.2 วัน การเตรียมอิมัลชันสูตรเดิม ใช้ น้ำมันหอมระเหยจากขิง : Neopelex ที่ อัตราส่วน 80 : 20 มีขนาดอนุภาคที่ 147 นาโนเมตร (ระดับนาโนอิมัลชัน)

เมื่อนำสูตรดังกล่าวไปลดขนาด ไม่สามารถลดขนาดลงได้จึงมีการพัฒนาสูตรการเตรียมน้ำมันในรูปอิมัลชัน โดยการใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือสารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม และนำผ่านการลดขนาด เพื่อให้ได้อิมัลชันที่ขนาดอนุภาคเล็กลงในระดับนาโนอิมัลชัน การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากชิงในรูปอิมัลชันทำให้สามารถใช้น้ำมันหอมระเหยได้ง่ายขึ้น แต่ในการทำอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงขนาดอนุภาคของสารละลายยังคงค่อนข้างใหญ่ ถ้าสามารถลดขนาดของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากชิงได้ด้วยและยังสามารถช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันหอมระเหยลงได้

จากการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสูตรการเตรียมน้ำมันหอมระเหยในรูปอิมัลชันและนาโนอิมัลชัน ให้มีความความคงตัวและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกรในการเลือกใช้สารธรรมชาติในการชะลอการเสื่อมสภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของใบเฟินนาคราช ทดแทนการใช้สารเคมี อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของชิงซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของไทยในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มในใบเฟินนาคราชหลังการเก็บเกี่ยว
- 1.2.2 ศึกษาสัดส่วนการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากชิงและสารลดแรงตึงผิวให้เกิดอิมัลชันและนาโนอิมัลชันที่มีความเสถียร
- 1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยชิงในรูปอิมัลชัน
- 1.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณสารชีวเคมีภายในใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันใต้น้ำมันหอมระเหยชิงในรูปอิมัลชัน

1.3 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยชิงในรูปอิมัลชันที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ทั้งขนาดไมโครเมตรและนาโนเมตร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแบบต่าง ๆ ความสามารถในการยับยั้งการเกิดเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อช่วยยืดอายุการปักแจกันของใบเฟินนาคราชเพื่อนำไปข้อมูลพื้นฐาน และการพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวไม้ดอกไม้ประดับ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้เกษตรกรหรือผู้ใช้ประโยชน์จากไม้ตัดใบต่อไป

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เฟิน

เฟิน เป็นพืชดึกดำบรรพ์ที่มีวิวัฒนาการมายาวนาน พบได้ทั่วไปทั้งป่าเขตร้อน เขตอบอุ่น หรือแม้แต่ในเขตที่มีอากาศหนาว ทั่วโลกพบเฟินมากกว่า 12,000 ชนิด 230 - 250 สกุล (ม.ล.จารุพันธ์. 2536) ลักษณะของเฟินนั้นจะไม่มีดอก ไม่มีผล ไม่มีเมล็ด แต่เฟินสามารถขยายพันธุ์ได้โดยใช้สปอร์ ที่มีขนาดเล็กได้ใบ (เศรษฐมนตร์. 2551) ใบเฟิน มี 2 แบบ แบบที่สร้างสปอร์ (fertile) และแบบใบไม่สร้างสปอร์ (sterile) ใบจะเกิดจากส่วนปลายของลำต้น เมื่อใบอ่อนจะขม้วนเป็นวง แล้วจึงค่อย ๆ คลี่ใบ ออก (ม.ล.จารุพันธ์และปิยเกษตร. 2550) ใบของเฟินนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ก้านใบ (stipe) และแผ่นใบ (fronds) ก้านใบมักมีขนหรือเกร็ดปกคลุม ส่วนแผ่นใบมีรูปร่างแตกต่างกัน มีทั้งที่เป็นใบเดี่ยว เช่น เฟินใบหัวใจ (*Hemionitis arifolia*) เฟินแววมยุรา (*Microsorium thailandica*) ข้าหลวงหลังลาย (*Asplenium nidus*) และใบประกอบแบบขนนก 1-4 ชั้น เช่น เฟินใบมะขาม (*Nephrolepis cordifolia*) เฟินนาคราช (*Davallia solida* (G. Forst.) SW.) หรือเฟินทอง (*Pitrogramma austroameicana*) ที่มีใบละเอียดเล็กๆ ครอบบาง แต่ทนทาน เฟินบางชนิดมีแผ่นใบ ครอบบางมาก เช่น เฟินก้านดำ (*Adiantum* spp.) หรือแผ่นใบที่หนาเป็นมัน ดูหนาน เช่น เฟินโพลีโพเดียม (*Polypodium* spp.) (อุไร. 2548) รากของเฟินส่วนใหญ่จะเป็นรากละเอียดแตกแขนงมากมาย รากของเฟินจะช่วยยึดเกาะเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารเข้ามาเลี้ยงต้น

2.1.1 เฟินนาคราช

เฟินนาคราชอยู่ในวงศ์ Davalliaceae เฟินในสกุลนาคราชมีประมาณ 40 ชนิดเฟินสกุลนี้เป็นเฟินขนาดกลาง ส่วนใหญ่เป็นเฟินอิงอาศัย มีเหง้าเป็นเถาเลื้อยยาว ปกคลุมด้วยเกร็ดหรือขนสีน้ำตาล ใบประกอบขนนก 2-4 ชั้น (เศรษฐมนตร์. 2551) เฟินนาคราชจะมีทั้ง นาคราชพิจิ นาคราชใบละเอียด และนาคราชใบหยาบ ส่วนใหญ่มีสีเขียว เป็นมัน อับสปอร์เกิดบนขอบใบย่อย แถวของอับสปอร์มีรูปร่างกลมเกิดบนเส้นใบใกล้ขอบเนื้อเยื่ออินดูเซียติดส่วนที่โคน และด้านข้างรูปร่างคล้ายถ้วย พบในป่าเขตร้อน หรือป่ากึ่งร้อน เป็นเฟินที่มีคุณค่าในแง่ไม้ตัดใบ ทั้งในแง่ใบสด และใบแห้งในประเทศไทยส่วนใหญ่มักพบตามพื้นที่รกร้างละเียด บริเวณป่าใกล้แนวชายทะเล เช่น ป่าเสม็ดจังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี นอกจากนี้ยังพบมากบนต้นปาล์มน้ำมัน หรือต้นไม้ใหญ่ทั่วไปทางภาคใต้ เฟินนาคราช (rabbit's-foot ferns) เป็นเฟินเลื้อยที่มีลำต้นเป็นเหง้ายาว อาจขึ้นบนพื้นทราย หรือพันพาดบนคาคบไม้ก็ได้ ตัวใบกว้าง - ยาวประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร รูปสามเหลี่ยม ใบแก่ของเฟินนาคราช มีความหนาเป็นมัน เพราะมีชั้น cutin บนผิวใบด้านบนหนาอยู่ ทำให้ทนทานต่อการปักแจกัน หรือการร่วมกับดอกกล้วยไม้เพื่อส่งไปต่างประเทศ และเป็นที่ต้องการในยุโรปหลายประเทศ ข้อดีอีกประการหนึ่งในแง่ไม้ตัดใบ คือมีก้านใบยาว แข็งแรงปักแจกันได้ดี ใบที่หมดอายุแล้วจะเหลืองเหี่ยวแห้งไปทั้งใบ ไม่ทิ้งใบย่อยให้สกปรกรกรุงรัง (ม.ล.จารุพันธ์. 2536)

2.2 การเสื่อมสภาพของใบเฟิน

เฟินเป็นไม้ใบตัดที่นิยมนำไปใช้ในการจัดดอกไม้หรือการปักแจกัน เมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพหมดอายุการปักแจกัน จะพบว่าใบเฟินเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เพราะใบเฟินสูญเสียคลอโรฟิลล์ (ฐิตีมา. 2541) โดยทั่วไป แล้วสายพันธุ์ของเฟินก็มีผลต่ออายุการปักแจกัน (Fujino and Reid. 1983) เช่นเฟินนาคราชมีอายุการปักแจกันสั้น และเฟินใบมะขามมีอายุการปักแจกันที่นานกว่า แต่เฟินใบมะขามเมื่อหมดอายุปักแจกันใบย่อยจะร่วง แต่ในขณะที่เฟินนาคราชเมื่อใบที่หมดอายุปักแจกันแล้วจะเหลืองเหี่ยวแห้งไปทั้งใบ ใบย่อยไม่ร่วงหล่น เฟินมีใบย่อยใบเล็กๆ มากมาย ใบพวกนี้มีโอกาสซ้ำง่ายและหลุดร่วงได้ง่าย และทำให้มีอายุการใช้งานได้น้อยวัน (ช.ณัฐศิริ. 2538)

2.2.1 การเหี่ยว

การเหี่ยวของไม้ตัดหลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นจากการขาดน้ำ หรือการที่ก้านดูดน้ำได้น้อย เนื่องจากมีเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากภาชนะหรือน้ำที่ปักแจกันไม่สะอาดอุดตันท่อลำเลียงน้ำของพืช (ช.ณัฐศิริ, 2538) สาเหตุมาจากการการตัดก้านใบที่ทำให้เกิดรอยแผล อาหารจากท่อลำเลียงอาหารไหลออกมาเป็นอาหารให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเข้าไปอุดตันก้านใบได้ และยังถ้าโคนก้านใบซ้ำจากการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้องจะทำให้ก้านใบเน่าได้ง่าย ปกติแล้วใบเฟินที่ได้จากการเก็บเกี่ยวนี้มีความทนทานและมีอายุการปักแจกันนาน แต่บางครั้งการทำให้ใบเฟินแห้งหรือสูญเสียน้ำออกจากใบอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว หรือการได้รับน้ำไม่เพียงพอ จะทำให้ปากใบเปิดมากเกิดการคายน้ำสูง ใบเฟินอาจขาดน้ำและอาหารหลังการเก็บเกี่ยวส่งผลให้อายุการปักแจกันสั้นลง (Stamps. 2001) ใบเฟินที่เก็บเกี่ยวในฤดูร้อนแทบจะไม่แสดงอาการเหี่ยวเลย แต่ใบเฟินที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูหนาวแสดงอาการเหี่ยวมากกว่า ในเฟินที่ปลูกในพื้นที่ธรรมชาติจะมีอายุการปักแจกันและเหี่ยวน้อยกว่าเฟินที่ปลูกในโรงเรือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิ น้ำ และธาตุอาหารที่เฟินได้รับด้วย ความซอกซำหลังการเก็บเกี่ยวเฟิน รวมถึงการอุดตันของก้านเนื่องมาจากรอยตัดที่โคนซ้ำ การเนาของก้าน การแช่ในภาชนะที่ไม่สะอาด และการอุดตันของเชื้อจุลินทรีย์ ก็เป็นสาเหตุให้เฟินเกิดการเสื่อมสภาพและมีอายุการปักแจกันสั้นลงได้ (Stamps. 2007)

2.2.2 การเหลืองของใบ

การสูญเสียคลอโรฟิลล์ในใบ และการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบ โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ในระหว่างการเสื่อมสภาพการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีมากกว่าจึงทำให้สีซีดหมดไป การสลายตัวของคลอโรฟิลล์จึงบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพ (Ferrante and Francini. 2006) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฮอร์โมนในใบ ซึ่งได้แก่ ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และ ABA นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาวะการขาดน้ำและแสง ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน และแสงจะชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (จริงแท้. 2541) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดจาก การแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน ซึ่งเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และทำให้เกิดสารฟีโอไฟทิน (Pheophytin) การแตกออกของหมู่ไฟทอลซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllides) เนื่องจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) และจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Gossauer and Engel. 1996) ใบแสดงอาการเหี่ยวและเหลืองเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงถึงการเสื่อมสภาพของใบ หลังจากตัดดอกไม้หรือใบไม้ที่ถูกตัดออกมาจากต้นแล้วจะเกิดการขาด

ไซโตไคนิน เนื่องจากไซโตไคนินเกิดการสังเคราะห์ขึ้นที่บริเวณรากก่อน ดังนั้นความไม่สมดุลของฮอร์โมนนี้อาจมีผลไปกระตุ้นให้พืชเสื่อมสภาพโดยแสดงอาการใบเหลือง (Van Staden and Mooney. 1988) รุติมา (2541) ศึกษาสารเคมีที่มีต่อการสลายตัวของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเฟินนาคราชพบว่า การจุ่มเฟินด้วยสาร benzyladenine และปักแจกันด้วย gibberellic acid, O-phenanthroline และ 2,2-dipyridyl ความแตกต่างของการใช้สารเคมีเหล่านี้ ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในใบ สารเคมีจะไม่มีผลชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสะสมของสารโพรงในระหว่างการทดลอง แต่พบว่า benzyladenine, gibberellic acid, O-phenanthroline และ 2,2-dipyridyl ไปมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนของใบเฟิน

2.2.3 การร่วงของใบ

การร่วงของใบ เกิดขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีของเซลล์ในบริเวณแนวการร่วง (abscission layer) ที่ฐานโคนของก้านซึ่งประกอบด้วยเซลล์พาเรงโคมาเปียดกันแน่นเกิดการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว เซลล์เหล่านี้มีผนังเซลล์บางและไม่มีการสะสมของลิกนิน เซลล์ของท่อลำเลียงในบริเวณนี้หดสั้นลง เส้นใยเกิดการสลายไป เมื่อไม่มีเส้นใยล้อมรอบ เซลล์ในบริเวณแนวการร่วงจะอ่อนแอมาก (ลิลลี่. 2546) แล้วจึงมีการสังเคราะห์เอนไซม์ เช่น cellulose และ polygalacturonase ออกไปย่อยองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัว ทำให้ใบร่วงหล่นไป เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่เร่งการร่วง ในขณะที่ออกซินยับยั้งผลของเอทิลีน ฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้ทำงานต้านกันตั้งแต่ในขณะที่ใบยังแข็งแรงอยู่ โดยใบสังเคราะห์ออกซินจำนวนมากเคลื่อนย้ายลงมาที่ก้านใบและยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ที่บริเวณแนวการร่วง ต่อมาเมื่อใบแก่จัด เริ่มเข้าสู่ระยะการชักนำให้เกิดการร่วง อัตราการสังเคราะห์ออกซินลดลง ในขณะที่การสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มมากขึ้น เอทิลีนมีผลยับยั้งการเคลื่อนที่ของออกซินและเร่งการทำลายของออกซินด้วย ปริมาณออกซินที่ลดลงทำให้เซลล์พาเรงโคมาบริเวณแนวการร่วงตอบสนองต่อเอทิลีนได้ดียิ่งขึ้น โดยเอทิลีนจะกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ย่อยผนังเซลล์และขนส่งเอนไซม์ออกสู่ผนังเซลล์มากยิ่งขึ้น ทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัวลง เซลล์แยกออกจากกัน และเกิดการร่วงในที่สุด (สมบุญ. 2544)

2.2.4 การเกิดอนุมูลอิสระ

สาเหตุการเสื่อมสภาพของใบอีกประการหนึ่งคือ เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะเครียดจะเกิดการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระในกลุ่ม Reactive oxygen species หรือ ROS (Prochazkova and Wilhelmovam. 2007) เป็นกลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ อนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ได้แก่ superoxide anion ($O_2^{\cdot-}$) Hydroxyl radical (OH^{\cdot}) Hydroperoxyl radical (HO_2^{\cdot}) Alkylperoxyl radical (RO_2^{\cdot}) Alkoxy radical (RO^{\cdot}) และ carbonate ion (CO_3^{2-}) ROSs เป็นสารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเยื่อหุ้มไขมัน เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลที่สำคัญ ทั้งกรดนิวคลีอิก รงควัตถุ กรดไขมัน และโปรตีนส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ (Kumar *et al.* 2009a, b; Khare *et al.* 2015) คลอโรพลาสต์เป็นแหล่งผลิต ROS ที่สำคัญ เนื่องจากมี superoxide radicals ($O_2^{\cdot-}$) และ singlet oxygen (1O_2) เกิดจากสถานะการรีดอกซ์ไม่สมดุลของระหว่างการการส่งอิเล็กตรอนในคลอโรพลาสต์ในสภาวะที่มีความเครียด (Zimmermann and Zentgraf. 2005) ROS เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของพืช แต่อัตราการผลิต ROS และความเสียหายของเซลล์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้นจะเพิ่มขึ้นในสภาวะที่พืช

เผชิญความเครียด เมื่อพืชเกิดการเสื่อมสภาพ เซลล์ที่เสื่อมสภาพมีผลทำให้การผลิต ROSs เพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองต่อสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น proteins, lipids, chlorophyll, และ nucleic acids ในเซลล์พืชอย่างไรก็ตามสถานะการต้านอนุมูลอิสระจะต่ำลงเมื่อมีปริมาณ lipid peroxidation สูงขึ้น (Prochazkova *et al.* 2001, Navabpour *et al.* 2003)

2.2.5 การเกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation

เกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ส่งผลทำให้ใบไม่เกิดการเสื่อมสภาพ โดยความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ลดลง เกิดกระบวนการแคแทบอลิซึม โดยเอนไซม์ที่สลายไขมันประกอบด้วย phospholipase D, lytic acyl hydrolase, phosphatidic acid phosphatase, -galactosidase, lipoxygenase, galactolipase และ-galactosidase เพิ่มมากขึ้น (Kumar *et al.* 2019) การศึกษาของ Fan *et al.* (1997) พบว่า phospholipase D มีส่วนในการควบคุม ABA หรือ เอทิลีนมีผลทำให้ใบเกิดการเสื่อมสภาพ การลดลงของระดับการเสื่อมสภาพจากปริมาณ lipase ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ใบของ *Arabidopsis* เกิดการเสื่อมสภาพช้าลง (Thompson *et al.* 2000) ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการสลายตัวของไขมันทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของใบไม้

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้ง lipid peroxidation ของสารสกัดทดสอบ ทำโดยการเติมกรด Thiobarbituric acid (TBA) ในสภาวะกรดสารมาลอนไดอัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับกรด Thiobarbituric acid ได้ เป็นสารที่มีสี เรียกว่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) เมื่อเติมสารสกัดทดสอบที่มีความสามารถยับยั้ง lipid peroxidation ลงไป จะทำให้สารสีจางลง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (โอภาและคณะ. 2550)

2.3 การยืดอายุไม้ใบหลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารส่งเสริมคุณภาพจะมีอยู่ 4 ลักษณะ การใช้สารส่งเสริมคุณภาพเพื่อให้ดอกไม้คืนสภาพความสด (conditioning) คือจะทำให้ดอกไม้ ใบไม้อืดตัวด้วยน้ำหลังจากที่ขาดน้ำไประยะเวลาหนึ่ง การใช้สารส่งเสริมคุณภาพเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนการขนส่งหรือการเก็บรักษา (pulsing) คือ การแช่ก้านดอกไม้ใบไม้ในสารส่งเสริมคุณภาพเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนการเก็บรักษา หรือ การนำไปใช้ประโยชน์ โดยสารละลายที่ใช้จะมีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายที่ใช้ในการปักแจกัน จะทำมีอายุการปักแจกันได้นานกว่า สุรินทร์ (2534) รายงานว่า เฟินใบมะขามที่ทำการพัลซิงในสารละลาย BA 50-150 ppm และ kinetin 50-150 ppm เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการบรรจุหีบห่อ และเก็บรักษานาน 24 ชั่วโมง เมื่อนำมาปักแจกันพบว่า ใบเฟินมีอายุเฉลี่ยในการปักแจกันนาน 17.50 วัน ในขณะที่ control ปักแจกันเฉลี่ย 12.66 วัน การศึกษาของ Fujino and Reid (1983) พบว่า เฟินก้านดำที่ปักแจกันด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 25 mg/L มีอายุการปักแจกันนาน 16.3 วัน ในขณะที่ปักในน้ำกลั่น (DI) มีอายุปักแจกันนาน 3.2 วัน ใบเฟินนาคราชที่ทำการพัลซิงน้ำกลั่นมีอายุการปักแจกัน 9.22 วัน ในขณะที่ใบเฟินนาคราชพัลซิงด้วยสารส่งเสริมคุณภาพ Thidiazuron (TDZ) ที่ความเข้มข้น 10 μ M และในสารละลาย 6-benzylaminopurine (BA) ที่ความเข้มข้น 100 ppm นาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาปักแจกันในน้ำกลั่นมีอายุการใช้งานนาน 11.56 และ 11.11 วัน จากการศึกษาพบว่า การพัลซิงด้วยสารละลาย TDZ และ BA สามารถชะลอการเหี่ยวของใบ โดยไปชะลอการลดลงของปริมาณ

คลอโรฟิลล์ แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักราก การพอลิซิงด้วยสารละลายน้ำตาลทรีฮาโลส 0.05 mM ไม่มีผลต่ออายุการปักแจกัน น้ำตาลทรีฮาโลสมีแนวโน้มยืดอายุการใช้งานได้ดีที่สุดโดยชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ แต่ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรากและอัตราการดูดน้ำได้ การพอลิซิงด้วยสารส่งเสริมคุณภาพ TDZ สามารถชะลอการเหลืองของใบและลดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ โดยการลดกิจกรรมของเอนไซม์ pheophytinase และชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ Chlorophyll degrading peroxidase ได้มากกว่าการพอลิซิงด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ซึ่งมีผลทำให้ใบเฟินนาคราชมีอายุการปักแจกันนานขึ้น

2.4 น้ำมันหอมระเหยจากขิง

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารอินทรีย์ที่พืชได้สร้างขึ้นตามธรรมชาติ เก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เกล็ด ราก เปลือกของลำต้น กลีบดอก เมล็ด ผิวของผล หรือน้ำยางที่ออกมา ล้วนมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีซับซ้อนและแตกต่างกัน น้ำมันหอมระเหยมีลักษณะเป็นของเหลว มีกลิ่นหอม กลิ่นหอมนี้สามารถระเหยได้ง่าย เมื่อได้รับความร้อน น้ำมันหอมระเหยมีขนาดอนุภาคที่เล็ก สามารถระเหยออกมาเป็นไอทำให้เราได้กลิ่นหอม กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยของดอกไม้มีบทบาทสำคัญในการช่วยดึงดูดแมลงมาผสมเกสร และรักษาความชุ่มชื้นแก่พืช ปกป้องพืชจากแมลงศัตรูพืช มนุษย์ยังนิยมใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยมีคุณสมบัติในการฆ่าตัวเน่าเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ กลิ่นหอมของน้ำมันหอมระเหยช่วยให้คลายเครียดและกระตุ้นให้สดชื่น อีกทั้งยังสามารถบรรเทาอาการอักเสบ ลดบวมได้อีกด้วย ทั้งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด น้ำมันหอมระเหยได้ถูกนำมาใช้ยืดอายุปักแจกันในดอกไม้ตัดดอกหลายชนิด เช่น กุหลาบ (กาญจนาและคณะ. 2555) เยอบีร่า (Solgi *et al.* 2009) แกลดีโอลัส (Marandi *et al.* 2011) แอสโครมีเรีย (Bazaz and Tehranifar. 2011) และกุหลาบลูกผสม (*Rosa hybrid L.cv. Grand*) (Shanan. 2012) ผลการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยลดการดูดน้ำของท่อลำเลียงน้ำในก้านทำให้ดอกไม้มีอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้นและเพิ่มอายุการใช้งานของดอกไม้

ขิง (*Zingiber officinale* Rosc.) จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อสามัญว่า Ginger เป็นพืชสมุนไพรล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน มีแงงเล็กๆ แตกออกจากเหง้า เนื้อในมีสีน้ำตาล เปลือกนอกมีสีน้ำตาลแกมเหลือง ที่มีกลิ่นหอมฉุนเฉพาะตัว ส่วนที่พื้นดินเป็นลำต้นเทียมประกอบด้วยกาบหรือโคนก้านใบหุ้มซ้อนกัน ขอบใบเรียบ ปลายใบสอบเรียวแหลม ดอกออกเป็นช่อมีสีขาวแทงขึ้นมาจากเหง้า ดอกย่อยมีกลีบรองดอกสีเขียวปนแดงห่อรองรับกลีบจะปิดแน่นเมื่อดอกยังอ่อน แต่เมื่อบานจะขยายเปิดให้เห็นดอกสวยงาม (คมกิจ. 2551) ขิงสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย สารสำคัญของขิงนั้นอยู่ในเหง้า ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำมันหอมระเหยและน้ำมันเรซินที่ประกอบไปด้วย menthol, 6 - gingerol, 6-shogaol, zingerone, zingiberol, gingerdiol, zingiberene, gingerdione, l borneol, fenchone, และ paradol เป็นต้น น้ำมันหอมระเหยจากขิงแก่สดมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ส่วนน้ำมันหอมระเหยจากขิงแก่แห้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิมามากที่สุดแต่น้ำมันหอมระเหย และ absolute ขิงแก่อ่อนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 80% ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (วทันยาและคณะ. 2557) และ Michele *et al.* (2013) พบว่าน้ำมัน

หอมระเหยของขิงที่ได้จากการสกัดด้วยเทคนิค hydrodistillation มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ มณฑินีและจำรุณ (2558) พบว่าเฟินนาคราชที่ถูกการพื้ลซึ่งในน้ำมันหอมระเหยขิง แล้วย้ายมาปักต่อในน้ำมันหอมระเหยขิงมีอายุการปักแฉก้นนานที่สุด เฉลี่ย 12.6 วัน มีอัตราการดูดน้ำมากที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับใบเฟินนาคราชที่ปักแฉก้นในน้ำกลั่น มีอายุการปักแฉก้นเฉลี่ย 7.2 วัน

2.5 อิมัลชัน

อิมัลชัน (emulsion) หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งซึ่งประกอบด้วย ของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ซึ่งมีลักษณะไม่เข้ากัน หรือ ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำและน้ำมัน ซึ่งการที่ผสมผสานสารที่ไม่เข้ากันให้เป็นเนื้อเดียวกัน ต้องใช้สารที่เรียกว่า ตัวทำอิมัลชัน หรือ Emulsifier ซึ่งตัว ตัวทำอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการผสมผสานของเหลวทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าหากมองด้วยตาเปล่าจะเห็นอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่หากส่องมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถมองเห็นเป็น 2 ภูมิภาค คือ เห็นเป็นหยดเล็ก ๆ ของเหลวชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า ภูมิภาคภายใน (internal or dispersed phase) กระจายตัวแทรกอยู่ใน ของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า ภูมิภาคภายนอก (external or continuous phase) โดยทั่วไปนั้น หยดของภูมิภาคภายในอาจมีขนาดต่าง ๆ กัน กระจายอยู่ทั่ว พบขนาดของอนุภาค แต่ขนาดที่เล็กกว่า 0.05 ไมครอน ไปจนถึง 25 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคของภูมิภาคภายในมีผลต่อการกระจายแสงได้ต่างกัน ส่งผลให้อิมัลชันมีลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้แตกต่างกัน

อิมัลชันโดยทั่วไปที่พบมีลักษณะขุนคล้ายน้ำมัน หรือมีลักษณะโปร่งใส ถ้าแบ่งตามชนิดของของเหลวที่ภูมิภาคภายนอกจะแบ่งได้ 3 ชนิด คือ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o emulsion) อิมัลชันชนิดนี้จะมีลักษณะภูมิภาคภายในเป็นน้ำภายนอกเป็นน้ำมัน อิมัลชันชนิดที่น้ำมันในน้ำ (o/w emulsion) อิมัลชันชนิดนี้จะแตกต่างจากอิมัลชันแบบแรก คือ มีลักษณะภูมิภาคภายในเป็นน้ำมัน ภูมิภาคภายนอกเป็นน้ำ และอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีภูมิภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น w/o/w หรือ o/w/o กระบวนการเกิดอิมัลชัน ต้องทำให้ของเหลวที่เป็นภูมิภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็กๆ โดยอาศัยการให้พลังงาน ซึ่งอาจจะใช้ในรูปของความร้อน การคน หรือเขย่า การสั่นสะเทือนโดยใช้คลื่นเสียง หรือการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น หรือการลดแรง หรือ ทำให้ของเหลวที่เป็นภูมิภาคภายในเป็นหยดเล็กๆ กระจายตัวนั้นคงสภาพอยู่ได้ ต้องลดแรงตึงผิวของสารละลายทั้งสองชนิด เป็นการลดพลังงานอิสระที่พื้นผิว ทำให้ภูมิภาคที่กระจายตัวอยู่นั้นกลับมารวมตัวกันได้ น้อยลง และเป็นการเพิ่มความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิกส์

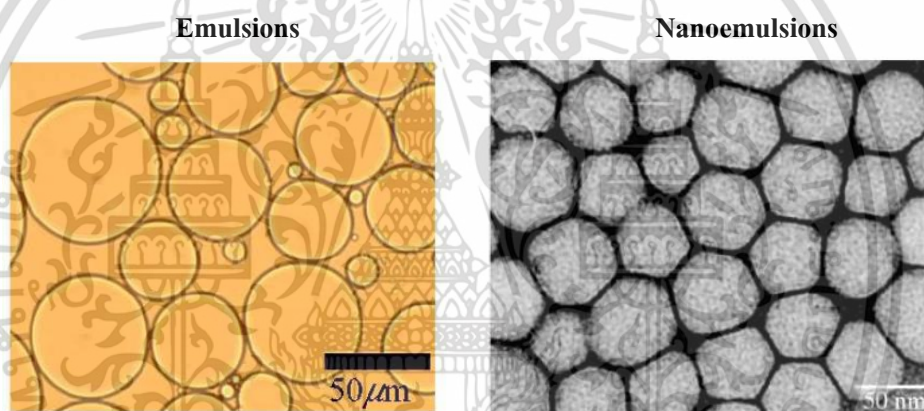
นาโนอิมัลชัน (NE) เป็นระบบกักเก็บน้ำมันในน้ำที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากอนุภาคของน้ำมันคือมีขนาดเล็กในช่วงนาโนเมตร (nm) มีขนาด 20-500 nm ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดี (Gupta *et al.* 2016) จึงเห็นเป็นลักษณะโปร่งใสหรือโปร่งแสงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค ประกอบด้วยเฟสน้ำ เฟสน้ำมัน และ surfactant สามารถเตรียมนาโนอิมัลชันได้ 2 วิธี คือ

1. เริ่มต้นเตรียมเป็นอิมัลชันขนาดปกติก่อนแล้วใช้เครื่องมือชั้นสูงช่วย เช่น high pressure homogenizer, ultrasound generator etc. เพื่อให้อนุภาคขนาดใหญ่แตกตัวให้มีขนาดเล็กลงจนถึง

ขนาดนาโนเมตร ซึ่งกระบวนการนี้ เรียกว่า mechanical shear โดยหลักการต้องผสม surfactant ในเฟสน้ำมันก่อน หากผสมในเฟสน้ำจะได้ อิมัลชันแบบปกติ

2. อิมัลชันที่เกิดขึ้นได้เอง (spontaneous emulsification) โดยผสมเฟสน้ำมันและ surfactant ก่อนแล้วค่อยผสมเฟสน้ำที่อุณหภูมิสูง โดยใช้หลักการ inversion temperature method (PIT) สารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติชอบน้ำที่ผสมอยู่ในหยดน้ำมันจะแพร่ไปสู่วัฏภาคน้ำด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดการผสมระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมัน เกิดเป็นนาโนอิมัลชัน และในบางกรณีนาโนอิมัลชันที่เกิดโดยวิธีนี้อาจมีขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตร (McClements and Rao 2011; Solans *et al.* 2016)

ข้อจำกัดของนาโนอิมัลชัน คือนาโนอิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ขึ้น เมื่อการเก็บนานขึ้น เนื่องจากนาโนอิมัลชันกักเก็บน้ำมันจำพวกน้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กมาก ทำให้นาโนอิมัลชันสามารถเกิดการสลายตัวจากการเกิด Ostwald ripening น้ำมันที่มีโมเลกุลเล็กมากนี้ สามารถแพร่ผ่านวัฏภาคน้ำได้ และเกิดการกลับมารวมตัวกัน ขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันจึงมีขนาดเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น (Gutiérrez *et al.* 2008; Solans *et al.* 2005; Tadros *et al.* 2004)



ภาพที่ 2.1 ขนาดอนุภาคของอิมัลชันและนาโนอิมัลชัน
ที่มา : Gupta *et al.* (2016)

2.6 การลดขนาดอนุภาค

การลดขนาด (size reduction) หมายถึง การผลิตหรือทำให้อนุภาคอยู่ในช่วงที่ต้องการ หรือ การทำให้อนุภาคแตกแยกออกจากกัน การลดขนาด เป็นกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมแร่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหาร ยารักษาโรค และอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เป็นต้น การลดขนาดของเหลวสามารถทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงโดยการใช้แรงในการลดขนาด แรงที่ใช้มี 6 แรง คือ แรงกดอัด (compression), แรงอัดกระแทก (compress compact), แรงกระแทก (impact), แรงกระแทกชนิดพลังงานสูง (striking), แรงเฉือน (shear force) และแรงเสียดสี (abrasion) แต่ละวิธีสามารถใช้ได้ในข้อจำกัดต่างกันในของเหลวที่เป็นอิมัลชัน มักจะนิยมให้เครื่องช่วยลดขนาดอยู่ 2 ชนิด คือ เครื่องโฮโมจีไนเซชัน ที่ทำให้สารทั้ง 2 ชนิดเป็นเนื้อเดียวกันและมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เพิ่มจำนวนของอนุภาคของแข็งหรือของเหลวในเฟสกระจายโดยการใช้แรงเฉือนสูง สามารถลดขนาดของอนุภาคในเฟสกระจายให้มีขนาดเล็กลงถึง 0.5-3 nm และเครื่องลดขนาด High Pressure Homogenizer (รุ่น M-110P Microfluidizer) ทำงานได้ด้วยแรง Hydraulic power ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่อง ซึ่งแรงดันจากน้ำมัน Hydraulic จะส่งไปยัง single acting intensifier pump ทำให้สารตัวอย่างสามารถไหลเข้าไปยังภายในระบบ ได้ระดับแรงดันสูงสุดที่ใช้ในการทำงานอยู่ที่ 30,000 psi การอัดสารตัวอย่าง สารตัวอย่างจะถูกอัดด้วยแรงคงที่ โดยตัวอย่างจะวิ่งเข้าไปยัง Interaction Chamber (IXC) และผ่านช่องเล็กๆ ภายในซึ่งมีขนาดเล็กระดับไมครอน ทำให้สารตัวอย่างวิ่งด้วยความเร็วสูงมาก นอกจากนี้ภายใน IXC สารตัวอย่างจะถูกทำด้วยแรงสองแรง คือ แรง shear และ Impact ทำให้ตัวอย่างถูกบดผสมภายในนี้ หลังจากตัวอย่างออกจาก IXC แล้ว heat exchanger จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงมาอยู่ที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิต่ำ (ศูนย์วิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน. 2566)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี ได้แก่ butylated hydroxytoluene (BHT) , ferrous sulfate (FeSO_4), ferrozine, DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl), gallic acid, butylated hydroxytoluene (BHT), potassium ferricyanide [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$], Trichloroacetic acid (TCA) , thiobarbituric acid (TBA) , sodium chloride (NaCl), potassium iodide (KI), di-sodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4), mono-sodium phosphate (NaH_2PO_4), potassium di-hydrogen phosphate (KH_2PO_4), ferric chloride (FeCl_3), hydrogen peroxide (H_2O_2), mannitol, tris, glacial acetic acid, sodium hydroxide (NaOH), citrate buffer, agarose gel, ethidium bromide, glycerol xylene cyanol Sodium carbonate (Na_2CO_3), 2-deoxyribose, ethanol 99.99%, ethanol 95%, acetone (80%), hydrochloric acid, Polysorbate 20 (tween20), polyoxyethylene sorbitan monostearate (tween60), polyoxyethylenesorbitan monopalmitate (tween40), polyethylene glycol sorbitan (tween80), sorbitan laurate (Span20), sorbitan oleate (Span 80), Sorbitan Sesquioleate (Span 83), และ sorbitan trioleate (Span 85)

3.1.2 อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร ขวดกลม กระบอกตวง ขวดแก้ว หลอดหยด หลอดเซนติพีว หลอดวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปากคีบปลายแหลม กระดาษกรอง เบอร์ 93

3.1.3 เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ไมโครปิเปต หม้อนึ่งฆ่าเชื้อด้วยความดัน อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง เครื่องหมุนเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน เครื่องกวนสาร เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น C860 เครื่องเขย่าสาร รุ่น G560E เครื่องวัดขนาดอนุภาค และวัดค่า Zeta Potential รุ่น Nano Plus III และเครื่องลดขนาดอนุภาคในระดับไมครอน รุ่น M-110P Microfluidizer

3.1.4 วัสดุดิบ ได้แก่ ใบเฟินนาคราช น้ำมันหอมระเหยจากขิง

3.1.5 อื่น ๆ ได้แก่ น้ำกลั่น หม้อต้มน้ำ อุปกรณ์ถ่ายภาพ อุปกรณ์จดบันทึก กรรไกร โกร่งบดยา กรรไกร สติ๊กเกอร์ ฟอยล์และสีผสมอาหาร

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราช

3.2.1.1 การเตรียมพืชทดสอบ

นำใบเฟินที่คัดเลือกแล้วมาล้างทำความสะอาด ตัดก้านยาว 15 เซนติเมตร เฉียง 45 องศา นำใบเฟินนาคราชมาปอกแฉกกัน โดยใส่น้ำปริมาตร 30 มิลลิลิตร วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แล้วดูระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงสีใบจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เที่ยวและบดอเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยแบ่งระยะเป็น 5 ระยะ เก็บผลการทดลองระยะละ 3 ชั่วโมง แบ่งระยะโดยมีรายละเอียดและวิธีการประเมินดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 1 ใบสีเขียว

ระยะที่ 2 ใบเริ่มมีสีเหลือง 25%

ระยะที่ 3 ใบมีสีเหลือง 50%

ระยะที่ 4 ใบมีสีเหลือง 75% ใบมีการเหี่ยวและบิดงอ

ระยะที่ 5 ใบมีสีเหลือง 100% ใบมีการเหี่ยวและบิดงอทั้งใบ

3.2.1.2 การศึกษาปริมาณสารคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ในใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้ง

ตัดใบเฟินนาคราชปริมาณ 0.1 กรัม บดในอะซีโตน 80% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ด้วยโกร่งให้ละเอียด จากนั้นใส่ในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร ท่อฟอยล์แล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470, 647 และ 663 นาโนเมตรและคำนวณหาค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ จากสูตร

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ (mg/L)} = (12.25 \times A_{663}) - (2.79 \times A_{647})$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี (mg/L)} = (21.50 \times A_{647}) - (5.10 \times A_{663})$$

$$\text{แคโรทีนอยด์ (mg/L)} = \frac{(1000 \times A_{470} - 1.82 \times Ch_A - 85.02 \times Ch_B)}{198}$$

A_{470} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร

A_{647} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

A_{663} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ (}\mu\text{g/g Dw)} = \frac{(\text{คลอโรฟิลล์} \times 10 \text{ mL})}{\text{น้ำหนักแห้ง}}$$

3.2.1.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation ของใบเฟินนาคราช

ตัดใบเฟินนาคราช ชั่งปริมาณ 0.5 กรัม บดในสารละลาย 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) จำนวน 5 มิลลิลิตร ด้วยโกร่งให้ละเอียด นำไปหมუნเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บส่วนของสารละลายใส่หลอดใหม่ หลอดละ 1 มิลลิลิตร เติมสาร Thiobarbituric acid (ละลายใน TCA 20%) ความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เติม butylated hydroxytoluene (BHT) ความเข้มข้น 4% จากนั้นนำไปต้มในน้ำร้อนจัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปแช่น้ำแข็งทันที นาน 30 นาที เมื่อครบกำหนดนำไปหมუნเหวี่ยงให้ตกตะกอนโดยใช้แรงหมุนที่ 6,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร นำไปคำนวณหาค่า MDA จากสูตร

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

A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

A_{600} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

3.2.1.4 การศึกษาปริมาณ Hydrogen peroxide (H_2O_2)

ตัดใบเฟินนาคราชและบดในโกร่งให้ละเอียด ชั่งปริมาณ 0.5 กรัม ใส่สารละลาย 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยง 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บส่วนของสารละลายใส่หลอดใหม่ หลอดละ 1 มิลลิลิตร เติม Phosphate Buffer pH7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย potassium Iodide (KI) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เปรียบเทียบปริมาณของ hydrogen peroxide กับกราฟมาตรฐานด้วย hydrogen peroxide

3.2.1.5 การศึกษาความสามารถของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH

ตัดซังใบเฟินนาคราช ปริมาณ 0.5 กรัม บดให้ละเอียด แล้วแช่ในเอทานอล 95% ปริมาตร 49.5 มิลลิลิตร นาน 3 วัน นำสารสกัดใบเฟินที่ได้ปรับความเข้มข้นเป็น 0.05%, และ 0.25% ใส่หลอดหลอดละ 2 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH ทำการทดสอบความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารทดสอบ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กับเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH ของสารทดสอบ และคำนวณค่า EC_{50} (ความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเป็น 50 เปอร์เซ็นต์) จากสูตร

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

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

3.2.1.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไบเฟินนาคราช

1) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

ทำการบันทึกน้ำหนักสดแต่ละก้านในวันแรกที่ปักแจกัน วันที่เก็บผลตามระยะที่เสื่อมสภาพ และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราช จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักไบเฟินนาคราช} = \frac{\text{น้ำหนักไบเฟินปักแจกัน} \times 100}{\text{น้ำหนักไบเฟินก่อนปักแจกัน}}$$

2) อัตราการดูดน้ำของไบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

ทำการบันทึกปริมาตรน้ำที่ไบเฟินนำไปใช้ทุกวัน โดยยกทั้งก้านไบเฟินขึ้นเพื่อบันทึกปริมาตรน้ำที่เหลือมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสารชนิดของลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดระบบอิมัลชันกับน้ำมันหอมระเหยจากขิงและความเสถียรภาพของอิมัลชัน

ผสมสารลดแรงตึงผิวหลัก (surfactant) ได้แก่ tween20, tween40, tween60 และ tween80 และสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) คือ span20, span80, span83 และ span85 ให้เกิดเป็น S_{mix} จากนั้นเตรียมอัตราส่วนระหว่างภูมิภาคน้ำมันหอมระเหยขิงของบริษัท ฮงฮวด จำกัด (Hong Huat company limited) และ S_{mix} ผสมในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8 และ 1:9 โดยน้ำหนัก แล้วจึงไทเทรตด้วยน้ำกลั่นและเขย่า เปรียบเทียบความเข้มข้นโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างด้วยสายตา วางทิ้งไว้ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน จากนั้นคัดเลือกสูตรที่มีความเสถียรไปลดขนาดด้วยเครื่อง High Pressure Homogenizer รุ่น M-110P Microfluidizer

การบันทึกผล

3.2.2.1 ประเมินลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิง

การตรวจสอบความคงตัวของอิมัลชัน ประเมินลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงหลังจากตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยสังเกตลักษณะการแยกชั้นของอิมัลชันด้วยสายตา เช่น การแยกชั้นครีม (creaming) การตกตะกอน (sedimentation) การเกาะกลุ่มของหยดภูมิภาคน้ำมันในตัวทำลาย (flocculation) การหลอมรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์เป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น (coalescence)

3.2.2.2 วิเคราะห์ขนาดของอนุภาค ศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน (Zeta Potential(ζ))

และการกระจายขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง

คัดเลือกตัวอย่างที่มีความเสถียรไม่เกิดการแยกชั้น ไม่ตกตะกอน อิมัลชันมีลักษณะเป็นน้ำนมและนำตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกมาวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Nano particle analyzer (บริษัท Micromeritics) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์หาขนาดเฉลี่ยของอนุภาค โดยใช้หลักการกระเจิงของแสงแบบพลวัต (dynamic light scattering) ขนาดของอนุภาคมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน รายงานขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงเป็นหน่วยนาโนเมตร (nm)

คัดเลือกสูตรการเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่มีความเสถียรจากการทดลองที่ 2 จำนวน 4 สูตร ได้แก่ ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก ได้แก่ tween20, tween40, tween60 และ tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว คือ span20 และนำตัวอย่างที่เตรียมได้มาวัดค่า Zeta potential และค่าการกระจายตัวของอนุภาค (Polydispersity Index) ทำการส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์วิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน Industrial University Collaborative Research Center (IUCRC) โดยใช้เครื่อง Nano particle analyzer (บริษัท Micromeritics) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า Zeta potential เกี่ยวข้องกับแรงผลักระหว่างอนุภาค เพื่อศึกษาความไม่คงตัวของกายภาพของอิมัลชัน ถ้ามีค่าน้อยกว่า ± 30 mV แสดงว่าอิมัลชันมีแรงผลักระหว่างอนุภาคน้อยมีแนวโน้มที่หยดอิมัลชันเกิดการเกาะกลุ่มกันแล้วรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกิดการแยกชั้น แต่ถ้ามีค่า Zeta potential ตั้งแต่ ± 30 mV ขึ้นไป แสดงว่าอนุภาคของน้ำมันกระจายตัวได้ดี ทำให้อิมัลชันเกิดความเสถียรและคงลักษณะทางกายภาพในรูปอิมัลชันได้นานและค่า Polydispersity Index (P.I.) คือค่าการกระจายตัวของอนุภาคของสาร

3.2.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยซิง

นำน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมจากสูตรที่แตกต่างกันมาทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยกรรมวิธี DPPH, ABTS และความสามารถในการแย่งจับกับโลหะไอออน (metal chelating activity) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

- กรรมวิธีที่ 1 น้ำมันหอมระเหยซิงที่ละลายโดยเอทานอล
- กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยซิงในรูปไมโครอิมัลชัน
- กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยซิงในรูปไมโครอิมัลชันผ่านเครื่อง Sonicator bath
- กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยซิงในรูปนาโนอิมัลชัน

3.2.3.1 การเตรียมน้ำมันหอมระเหยซิง

1) การเตรียมน้ำมันหอมระเหยซิงในตัวทำละลายเอทานอล

นำน้ำมันหอมระเหยซิงผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

2) การเตรียมน้ำมันหอมระเหยซิงในรูปอิมัลชัน (microemulsion)

นำน้ำมันหอมระเหยจากซิงผสมกับสารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) จากสูตรที่แตกต่างกัน โดย S_{mix} ผสมด้วยสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ tween20 ร่วมกับ span20, tween40 ร่วมกับ span20, tween60 ร่วมกับ span20, tween80 ร่วมกับ span20 และไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารน้ำมันหอมระเหยจากซิงร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Neopelex อัตราส่วนน้ำมันต่อสารลดแรงตึงผิว ร้อยละ 80:20 จากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยจากซิงผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย เจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3) การเตรียมน้ำมันหอมระเหยเชิงในรูปอิมัลชัน (microemulsion) ลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath

นำน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับสารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) จากสูตรที่แตกต่างกัน โดย S_{mix} ผสมด้วยสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ tween20 ร่วมกับ span20, tween40 ร่วมกับ span20, tween60 ร่วมกับ span20, tween80 ร่วมกับ span20 และสารลดแรงตึงผิว Neopelex ได้ไมโครอิมัลชันแล้วนำไปลดขนาดผ่านเครื่อง sonicator bath ความถี่ 37 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 30 นาที แล้วโดยเจือจาง ให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

4) การเตรียมน้ำมันหอมระเหยเชิงในรูปนาโนอิมัลชัน (nanoemulsions)

เตรียมน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับสารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) จากสูตรที่แตกต่างกัน โดย S_{mix} ผสมด้วยสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ tween20 ร่วมกับ span20, tween40 ร่วมกับ span20, tween60 ร่วมกับ span20, tween80 ร่วมกับ span20 และสารลดแรงตึงผิว Neopelex ได้ไมโครอิมัลชันแล้วนำไปลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer โดยใช้แรงดัน 15,000 psi จำนวน 2 รอบ ให้อนุภาคของสารละลายมีขนาดเล็กลงจนถึงระดับนาโนอิมัลชัน คือมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 100 นาโนเมตร จากนั้นนำตัวอย่างนาโนอิมัลชันมาเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.2.3.2 การบันทึกผล

1) การทดสอบหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH

นำน้ำมันหอมระเหยเชิงที่ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ในระดับไมโครและนาโนเมตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดสอบความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารทดสอบ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กับเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH ของสารทดสอบ และคำนวณค่า IC_{50} (ความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเป็น 50 เปอร์เซ็นต์) จากสูตร

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

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

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

2) การทดสอบความสามารถในการแย่งจับกับโลหะไอออน (metal chelating activity)

นำน้ำมันหอมระเหยจากชิงที่ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ในระดับไมโครและนาโนเมตร ความเข้มข้นต่างๆ ใส่หลอดทดลอง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย $FeSO_4$ ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเติม

สารละลาย ferrozine ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันทันที บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บันทึกค่าการดูดกลืนแสง และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการแย่งจับกับโลหะ ไอออน Fe^{2+} จากสมการ โดยใช้ EDTA เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐาน (Rohman *et al.* 2010) 20 ความสามารถในการแย่งจับกับโลหะ ไอออน

$$Fe^{2+} (\%) = [(A_{control} - A_{sample}) / A_{control}] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

3) การทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยวิธี ABTS

นำ 2,2' Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับ Potassium persulphate ($K_2S_2O_8$) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ เก็บไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องนาน 12-16 ชั่วโมง แล้วนำมาใช้ โดยดูด ABTS solution 1 มิลลิลิตร ใน 80% เอทานอล นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ให้ได้ 0.700 ± 0.005 นำน้ำมันหอมระเหยซึ่งที่ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ในระดับไมโครและนาโนเมตร ความเข้มข้นต่างๆ ใส่หลอดทดลอง ปริมาตร 150 ไมโครลิตร เติม ABTS solution 3 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณหาความสามารถในการต้านออกซิเดชัน จากสูตร

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

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

3.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความเข้มข้นของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งต่ออายุ ปักแฉกกันของใบเฟินนาคราช

เตรียมสารส่งเสริมคุณภาพอายุปักแฉกกัน โดยใช้ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิว neopelex และลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20 เนื่องจากเป็นสูตรที่ทำให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียรมากหลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน นำอิมัลชันไปลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath และลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer ให้อยู่ในรูปของนาโนอิมัลชัน น้ำมันหอมระเหยจากขิง จากนั้นนำใบเฟินที่คัดเลือกแล้วมาล้างทำความสะอาด ตัดก้านยาว 15 เซนติเมตร เฉียง 45 องศา ไปชั่งน้ำหนักสด แล้วจึงนำใบเฟินนาคราชมาปักแฉกกันในสารส่งเสริมคุณภาพ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร จากนั้นบันทึกเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของใบเฟินจนถึงหมดอายุการปักแฉกกัน เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกายภาพของใบเฟินนาคราช วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 17 กรรมวิธี ทำการทดลอง 10 ซ้ำ ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)
- กรรมวิธีที่ 2 สารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม (S_{mix}) ความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธีที่ 3 น้ำมันหอมระเหยจากขิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex ความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 4 น้ำมันหอมระเหยจากขิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex ความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธีที่ 5 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 6 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 10 ppm
- กรรมวิธีที่ 7 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 25 ppm
- กรรมวิธีที่ 8 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธีที่ 9 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicator bath ความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 10 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicator bath ความเข้มข้น 10 ppm
- กรรมวิธีที่ 11 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicator bath ความเข้มข้น 25 ppm
- กรรมวิธีที่ 12 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicator bath ความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธีที่ 13 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 2.5 ppm
- กรรมวิธีที่ 14 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 15 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm
- กรรมวิธีที่ 16 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 25 ppm
- กรรมวิธีที่ 17 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 50 ppm

บันทึกผล

3.2.4.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

โดยทำการ บันทึกน้ำหนักสดแต่ละก้านในทุกวันที่ปักแจกัน และคำนวณเปอร์เซ็นต์

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราช จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำหนักใบเฟินนาคราช} = \frac{\text{น้ำหนักใบเฟินปักแจกัน} \times 100}{\text{น้ำหนักใบเฟินก่อนปักแจกัน}}$$

3.2.4.2 อัตราการดูดน้ำของใบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

ทำการบันทึกปริมาตรน้ำที่ใบเฟินนำไปใช้ทุกวัน โดยยกทั้งก้านใบเฟินขึ้นเพื่อบันทึก ปริมาตรน้ำที่เหลือ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.2.4.3 อายุการปักแจกัน

จากวันที่ เริ่มปักแจกันจนกระทั่งใบเฟินหมดสภาพการใช้ ประโยชน์ เมื่อใบเฟินนาคราชเกิดการเหี่ยว บิดงอ ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองถือว่าหมดอายุการปักแจกัน

3.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยขิงกับสารลดแรงตึงผิวต่ออายุการใช้งานของ ใบเฟินนาคราช และการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม

ทำการเปรียบเทียบผลของน้ำมันหอมระเหยขิงกับสารลดแรงตึงผิวต่ออายุการปักแจกันของใบ เฟินนาคราชโดยเปรียบเทียบระหว่างการปักด้วยน้ำกลั่น, น้ำมันหอมระเหยจากขิงร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

neopelex, ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20, ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20 ลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงที่เตรียมจาก สารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20 และลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer (ที่คัดเลือกความเข้มข้นมาจากการทดลองที่ 4) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี

- กรรมวิธีที่ 1 น้ำกลั่น
- กรรมวิธีที่ 2 น้ำมันหอมระเหยจากชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex ความเข้มข้น 50 ppm
- กรรมวิธีที่ 3 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 4 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm
- กรรมวิธีที่ 5 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง / Sonicate ความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 6 ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง /Sonicate ความเข้มข้น 10 ppm
- กรรมวิธีที่ 7 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm
- กรรมวิธีที่ 8 นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm

บันทึกผล

3.2.5.1 ดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของใบเฟินนาคราชปักแจกัน

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี ทำการทดลอง 10 ซ้ำ เก็บผลทุกวันจนหมดอายุการปักแจกัน โดยมีรายละเอียดและวิธีการประเมินตามการทดลองที่ 4

3.2.5.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เก็บผลในวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12

- 1) ศึกษาปริมาณสารคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ในใบเฟินนาคราช
ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.2.1.2
- 2) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation (MDA)
ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.2.1.3
- 3) การศึกษาปริมาณ hydrogen peroxide (H_2O_2)
ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.2.1.4
- 4) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกัน โดยวิธี DPPH
ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ข้อ 3.2.1.5

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราช

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของใบเฟินนาคราชระหว่างปักแจกัน

เมื่อนำใบเฟินนาคราชปักแจกันในน้ำกลั่น และสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก เริ่มต้นจากใบเฟินที่มีสีเขียวและสด จนกระทั่งใบมีสีเหลือง เที่ยวและบิดงอ (ภาพที่ 4.1) ผลการศึกษาระยะเวลาในการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช พบว่า เมื่อนำใบเฟินนาคราชระยะที่ใบมีสีเขียวสด (ระยะที่ 1) ปักแจกันในน้ำกลั่น เริ่มเกิดการเสื่อมสภาพโดยเกิดอาการใบสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 2) ในวันที่ 6 วัน หลังการปักแจกัน ต่อมาใบเฟินนาคราชแสดงอาการเหี่ยว และใบเหลือง 50% ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 3) ภายในเวลา 8 วัน เมื่อใบเฟินนาคราชแสดงอาการเหี่ยวแห้งและสูญเสียความเขียว 75% ของพื้นที่ใบ (ระยะที่ 4) ใช้เวลา 9 วัน จนกระทั่งใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพเข้าสู่ระยะที่ 5 ใบเฟินนาคราชมีลักษณะใบเหี่ยวแห้ง บิดงอและใบเสื่อมสภาพ 100% ในวันที่ 11 หลังการปักแจกัน (ตารางที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชในระยะที่ 1 - 5

ตารางที่ 4.1 อายุปักแจกันและการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของทุกระยะของการเสื่อมสภาพในใบเฟินนาคราช

ระยะที่	ลักษณะภายนอกที่ปรากฏ	อายุปักแจกัน (วัน)
1	ใบสีเขียวสด	0
2	ใบเสื่อมสภาพเริ่มมีใบเหลือง 25% ของพื้นที่ใบ	6
3	ใบเสื่อมสภาพมีใบเหลือง 50% ของพื้นที่ใบ	8
4	ใบแสดงอาการเหี่ยวแห้งและสูญเสียความเขียว 75% ของพื้นที่ใบ	9
5	ใบมีลักษณะใบเหี่ยวแห้ง บิดงอและใบเสื่อมสภาพ 100%	11

1) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

การสูญเสียน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชเพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสภาพของใบเฟิน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชในระยะที่ 3 ลดลง แตกต่างจากระยะเริ่มต้นการทดลอง และน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชลดลงอย่างมากเมื่อใบเสื่อมสภาพจากระยะที่ 4 (ใบสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ) ถึงระยะที่ 5 (ใบเฟินเสื่อมสภาพไปทั้งใบ) (ตารางที่ 4.2)

2) อัตราการดูดน้ำของใบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 3 พบว่าใบเฟินนาคราชหลังปักแจกันมีอัตราการดูดน้ำสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะที่ 2 ไปจนถึงระยะที่ 4 และอัตราการดูดน้ำสะสมเริ่มคงที่เมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจากระยะที่ 4 ไปถึงระยะที่ 5 แสดงให้เห็นว่าก้านใบเฟินนาคราชดูดน้ำน้อยลง

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักและปริมาณการใช้น้ำสะสมของทุกระยะของการเสื่อมสภาพในใบเฟินนาคราช

ระยะที่	น้ำหนัก (%)	ปริมาณการใช้น้ำสะสม (มิลลิลิตร/ใบ)
1	100 ± 0 a	0 ± 0d
2	95.90 ± 4.79ab	37.47 ± 1.73c
3	88.48 ± 7.11bc	41.14 ± 1.00b
4	84.05 ± 2.60c	56.25 ± 1.00a
5	58.15 ± 2.08d	58.33 ± 1.15a
F-test	*	*
CV (%)	4.82	8.9

หมายเหตุ * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรที่เหมือนกันในสมมุติเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราช

การศึกษาปริมาณสารคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้ง

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มต้นของใบเฟินนาคราชระยะที่ 1 เป็นระยะที่เริ่มต้นการปักแจกัน (ใบที่มีสีเขียวสด) เท่ากับ $2633.0 \pm 403.00 \mu\text{g/g}$ (DW) เมื่อใบเฟินนาคราชเริ่มเสื่อมสภาพเข้าสู่ระยะที่ 2-3 ใบมีสีเหลือง 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงแตกต่างจากระยะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1751.9 ± 332.20 และ $1273.3 \pm 301.15 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ ในระยะต่อมา ปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพมากขึ้นถึงระยะที่ 4 และระยะที่ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 960.1 ± 20.21 และ $872.9 \pm 12.65 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

ใบเฟินนาคราชเมื่อเริ่มเสื่อมสภาพเข้าสู่ระยะที่ 2 พบปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มสูงขึ้นกว่าทุกระยะการเสื่อมสภาพ ในขณะที่ใบเฟินนาคราชในระยะที่ 1 3 4 และ 5 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเท่ากับ 520 ± 62.25 , 516.22 ± 93.05 , 343.05 ± 34.93 และ $366.35 \pm 46.37 \mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณคลอโรฟิลล์บีของใบเฟินนาคราชในระยะเริ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.3) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมดของใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้งในระยะที่ 1 และ 2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกัน พบปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด 3153.1 ± 342.21 และ $2,598.1 \pm 270.14$ $\mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ เมื่อใบเฟินเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพมากขึ้น ถึงระยะที่ 3-5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงจากระยะที่ 1-2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของใบเฟินนาคราชในระยะที่ 3, ระยะที่ 4 และระยะที่ 5 เท่ากับ $1,789.5 \pm 376.67$, $1,303.1 \pm 41.69$ และ $1,239.2 \pm 58.18$ $\mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ใบเฟินนาคราชระยะเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ $5,285.8 \pm 212.53$ $\mu\text{g/g}$ (DW) เมื่อใบเฟินนาคราชเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพถึงระยะที่ 2 ใบมีสีเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นกว่าในทุกๆระยะของการเสื่อมสภาพ ในระยะที่ 3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงแต่ไม่แตกต่างจากระยะที่ 1 และระยะที่ 4 แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์ ลดลงมากที่สุดในระยะที่ 5 พบปริมาณแคโรทีนอยด์ $3,384.2 \pm 156.00$ $\mu\text{g/g}$ (DW) (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของใบเฟินนาคราชต่อน้ำหนักแห้ง

ระยะที่	ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{g/g}$)			
	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม	แคโรทีนอยด์
1	$2633 \pm 403.00\text{a}$	$520 \pm 62.25\text{b}$	$3153.1 \pm 342.21\text{a}$	$5285.8 \pm 212.53\text{b}$
2	$1751.9 \pm 332.20\text{b}$	$846.17 \pm 100.69\text{a}$	$2598.1 \pm 270.14\text{a}$	$7869.8 \pm 155.73\text{a}$
3	$1273.3 \pm 301.15\text{cb}$	$516.22 \pm 93.05\text{b}$	$1789.5 \pm 376.67\text{b}$	$4753.5 \pm 507.32\text{cb}$
4	$960.1 \pm 20.21\text{d}$	$343.05 \pm 34.93\text{b}$	$1303.1 \pm 41.69\text{b}$	$4149.7 \pm 422.88\text{cd}$
5	$872.9 \pm 12.65\text{d}$	$366.35 \pm 46.37\text{b}$	$1239.2 \pm 58.18\text{b}$	$3384.2 \pm 156.00\text{d}$
F-test	*	*	*	*
CV (%)	18.01	13.92	12.88	6.4

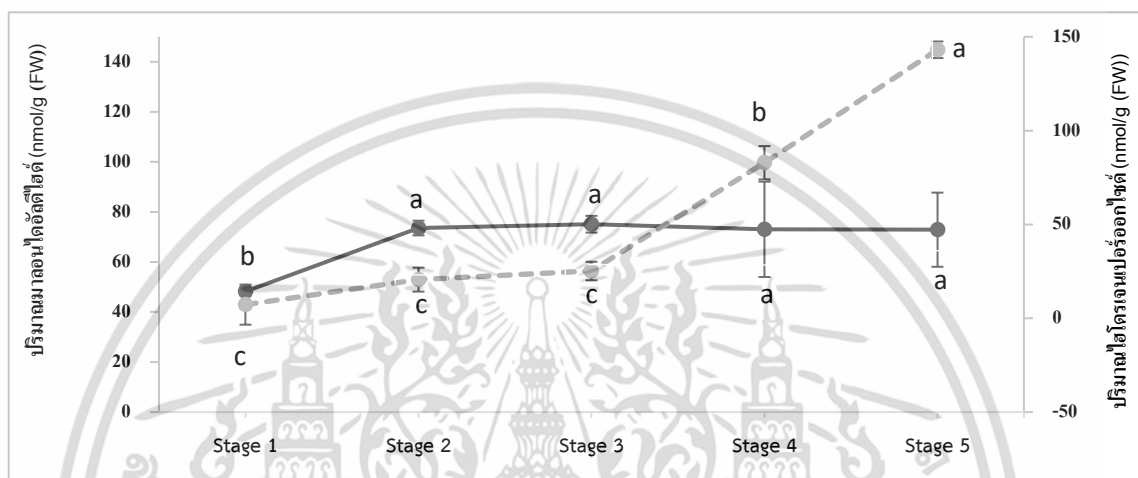
หมายเหตุ * ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรที่เหมือนกันในสมมุติเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบเฟินนาคราช

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบเฟินนาคราชหลังปักแจกัน พบว่าใบเฟินนาคราชในระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์มากกว่าในระยะเริ่มต้นการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ใบเฟินนาคราชระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 1) โดยพบว่าเฟินในระยะที่ 1 พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ 48.22 ± 10.68 nmol/g (FW) เมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจนถึงระยะที่ 5 พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ 72.90 ± 4.41 nmol/g (FW) (ภาพที่ 4.2)

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟินนาคราช

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พบว่า ใบเฟินนาคราชตั้งแต่ระยะที่ 1-3 มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพในระยะที่ 4 และระยะที่ 5 โดยพบว่าเฟินในระยะที่ 1 พบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7.26 ± 1.72 nmol nmol/g (FW) เมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจนถึงระยะที่ 5 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 143.09 ± 14.82 nmol/g (FW) (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟินนาคราช

การศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ของสารสกัดจากใบเฟินนาคราช

วิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดใบเฟินนาคราชหลังปักแจกัน โดยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าสารสกัดจากใบเฟินนาคราชตั้งแต่เริ่มปักแจกันจนกระทั่งเสื่อมสภาพมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ความสามารถของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH

ระยะที่	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ	
	2.5 g/mL	5 g/L
1	86.79 ± 0.18	93.69 ± 0.73
2	84.71 ± 0.40	87.16 ± 0.84
3	82.99 ± 0.06	85.82 ± 1.96
4	83.08 ± 0.98	87.83 ± 0.28
5	85.50 ± 0.37	92.82 ± 0.80
F-test	ns	ns
CV (%)	18.01	0.83

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

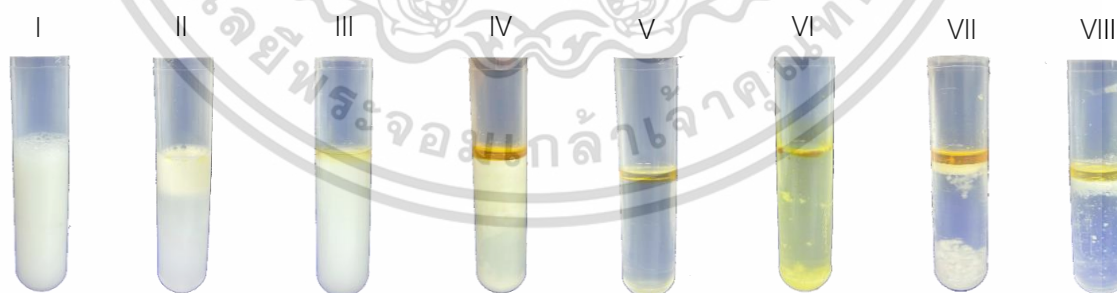
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดอิมัลชันกับน้ำมันหอมระเหยจากขิงและความเสถียรของระบบอิมัลชัน

4.2.1 ประเมินลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง

การเตรียมอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงโดยใช้สารลดแรงตึงหลัก (surfactant) ได้แก่ สารลดแรงตึงหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ได้แก่ Span20, Span80, Span83 และ Span85 ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 2:1 และ 3:1 โดยน้ำหนัก ทำให้เกิดการผสมของสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด (S_{mix}) หลังจากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยจากขิงผสมกับ S_{mix} ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8 และ 1:9 โดยน้ำหนัก แล้วจึงไทเทรตด้วยน้ำกลั่นและผสมให้เข้ากัน ประเมินลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ทันทีหลังการผสมและบันทึกการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเป็นเวลา 30 วัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85 โดยปรากฏเป็นลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 4.3)

- ลักษณะที่ 1 อิมัลชัน ลักษณะเป็นน้ำนมสีขาวเนื้อเดียวกัน
- ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่น ด้านล่างใส
- ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน
- ลักษณะที่ 4 เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน
- ลักษณะที่ 5 เป็นเนื้อเจลใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน
- ลักษณะที่ 6 เป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน
- ลักษณะที่ 7 ตกตะกอนสีขาวขุ่นด้านล่างในเนื้อเจลใสร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน
- ลักษณะที่ 8 มีการลอยตัวขึ้นของอนุภาคสารสีขาวขุ่นร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหอมระเหยขิงที่ผสมกับส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม ลักษณะที่ 1 (I), ลักษณะที่ 2 (II), ลักษณะที่ 3 (III), ลักษณะที่ 4 (IV), ลักษณะที่ 5 (V), ลักษณะที่ 6 (VI), ลักษณะที่ 7 (VII) และ ลักษณะที่ 8 (VIII)

การเตรียมอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับ S_{mix} ที่ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิว Tween20 ร่วมกับ Span20, Span80, Span83 และ Span85 พบว่า สูตรอิมัลชันที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับ Tween20 และ Span20 ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:5 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เริ่มเกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างเริ่มใสขึ้น (ภาพที่ 4.3) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน

สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับ Tween20 ร่วมกับ Span80 ทุกอัตราส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลมีความโปร่งใสและยังพบวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบน

น้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับ Tween20 ร่วมกับ Span83 ทุกอัตราส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน พบว่าเกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) ในวันที่ 7 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลมีความโปร่งใสและยังพบวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบนเกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 (ภาพที่ 4.3) และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 30 วันพบว่าเจลมีความโปร่งใสเปลี่ยนเป็นสีเหลืองร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบน (ภาพที่ 4.3) สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับ Tween20 ร่วมกับ Span85 ทุกอัตราส่วน เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน สูตรอิมัลชันที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับ Tween20 และ Span85 ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:3 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 7 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลโปร่งแสงเกิดการตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมันด้านบน เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน ในวันที่ 7 (ลักษณะที่ 4) และเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน พบว่า อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลสีเหลือง เกิดการตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านบนกับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบน (ลักษณะที่ 6, ภาพที่ 4.3) ส่วนสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงที่ผสมสารลดแรงตึงผิว Tween20 ร่วมกับ Span20 อัตราส่วน 1:7, 1:8 และ 1:9 เป็นสูตรที่มีความคงตัวตามลักษณะที่ 1 (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3)

การเตรียมอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับสารลดแรงตึงผิว Tween40 ร่วมกับ Span20, Span80, Span83 และ Span85 พบว่า สูตรอิมัลชันที่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับ Tween40 และ Span20 ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) อัตราส่วน 1:7 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 วัน และตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 30 Tween40 ร่วมกับ Span20 ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:7 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 อิมัลชันเกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน (ภาพที่ 4.3) อิมัลชันที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิว Tween40 ร่วมกับ Span80 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:7 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ 7 วัน อิมัลชันในทุกอัตราส่วนเกิดความไม่เสถียรโดยพบว่าที่อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:4 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 7 คืออิมัลชันเปลี่ยนเป็นเจลโปร่งแสงแต่ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมันที่ด้านบน อัตราส่วน 1:5 ถึง 1:9

เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 อิมัลชันเกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นและด้านล่างใส ในวันที่ 30 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 อิมัลชันเกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน (ภาพที่ 4.3) และ อัตราส่วน 1:7 ถึง 1:9 เกิดเกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 5 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลมีความโปร่งใสและยังพบวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบน (ภาพที่ 4.3) อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงร่วมกับ Tween40 ร่วมกับ Span83 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:3 และ 1:4 ถึง 1:6: เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 อิมัลชันเกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน และลักษณะที่ 2 อิมัลชันเกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นและด้านล่างใส ตามลำดับ เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1-3 วัน ในวันที่ 7 วัน ไปจนถึงวันที่ 30 พบว่า อัตราส่วน 1:4 ถึง 1:6 เริ่มเกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 (ภาพที่ 4.3) อัตราส่วนที่ 1:7 ถึง 1:9 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นและด้านล่างใส เป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 (ภาพที่ 4.3) Tween40 ร่วมกับ Span85 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดอิมัลชันหลังจากการผสมกับน้ำมันหอมระเหยจากขิงในทันที แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน พบว่า Tween40 ร่วมกับ Span85 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 อัตราส่วนที่ 1:7 ถึง 1:9 เกิดการแยกชั้นในลักษณะที่ 2 (ภาพที่ 4.3) ในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 7 อิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิว Tween40 ร่วมกับ Span85 ในทุกอัตราส่วนเกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบนเป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 และในวันที่ 30 ลักษณะของอิมัลชันเกิดการลอยตัวขึ้นของอนุภาคสารสีขาวขุ่นร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมันเป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 8 (ภาพที่ 4.3) ในขณะที่สารลดแรงตึงผิว Tween40 ร่วมกับ Span20 อัตราส่วน 1:8 และ 1:9 เป็นสูตรที่มีความคงตัวตามลักษณะที่ 1 (ตารางที่ 4.6, ภาพที่ 4.3)

การเตรียมอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงผสมกับ Tween60 ร่วมกับ Span20, Span80, Span83 และ Span85 พบว่า สูตรอิมัลชันที่ได้จากการเตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิว Tween60 ร่วมกับ Span20 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:5 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วัน เกิดการความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เริ่มเกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างเริ่มใสขึ้น (ภาพที่ 4.3) ในวันที่ 7 ไปจนถึงวันที่ 30 พบว่า อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) Tween60 ร่วมกับ Span80 ในทุกอัตราส่วนเกิดการแยกชั้นในลักษณะที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 7 ในวันที่ 30 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน เป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 และอัตราส่วน 1:4 ถึง 1:9 พบว่า เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 6 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลสีเหลือง เกิดการตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านบนกับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันลอยอยู่ด้านบน (ภาพที่ 4.3) เมื่อตั้งอิมัลชันจากสูตร Tween60 ร่วมกับ Span83 ทิ้งไว้เป็นเวลา 1-30 วัน พบว่าในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:3 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 ในขณะที่อัตราส่วน 1:4 ถึง 1:8 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 คือ เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างเริ่มใสขึ้น (ภาพที่ 4.3) และอัตราส่วนที่ 1:9 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 ในวันที่ 30 อิมัลชันจากสูตร Tween60 ร่วมกับ Span85 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างเริ่มใสขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 ไปจนถึงวันที่ 30 สารลดแรงตึงผิว Tween60 ร่วมกับ Span20 อัตราส่วน 1:7, 1:8 และ 1:9 เป็นสูตรที่มีความคงตัวตามลักษณะที่ 1 (ตารางที่ 4.7, ภาพที่ 4.3)

การเตรียมอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85 พบว่า ทำให้เกิดอิมัลชันหลังจากการเตรียมทันที แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วันพบว่า Tween80 ร่วมกับ Span20 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:3 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 มีวงแหวนน้ำมันเกิดขึ้นด้านบนอิมัลชัน (ภาพที่ 4.3) อัตราส่วน 1:5 และ 1:6 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 (ภาพที่ 4.3) ในวันที่ 3 และ 7 และในวันที่ 30 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:7 อิมัลชันเปลี่ยนลักษณะเป็นเจลโปร่งแสงเกิดการตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมันด้านบน เกิดเป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 7 (ภาพที่ 4.3) ในขณะที่ อัตราส่วน 1:8 และ 1:9 เป็นสูตรที่มีความคงตัวตามลักษณะที่ 1 (ตารางที่ 4.8, ภาพที่ 4.3) Tween80 ร่วมกับ Span80 ในอัตราส่วน 1:1 ถึง 1:7 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 3 เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงเกิดการแยกชั้นตามความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 ในวันที่ 3 จนถึงวันที่ 7 และพบว่าในวันที่ 30 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 อิมัลชันเป็นเจลโปร่งแสงแต่ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมันที่ด้านบน เป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 7 (ภาพที่ 4.3) แต่อัตราส่วน 1:7, 1:8 และ 1:9 อิมัลชันเกิดการเปลี่ยนเป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน เป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 6 (ภาพที่ 4.3) Tween80 ร่วมกับ Span83 อัตราส่วน 1:1 ถึง 1:6 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 วัน และอัตราส่วน 1:7 ถึง 1:9 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 2 ในวันที่ 3 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 7 วัน อิมัลชันจากสูตรที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Tween80 ร่วมกับ Span83 ทุกอัตราส่วนเกิดการแยกชั้นร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบนเป็นความไม่เสถียรในลักษณะที่ 4 และในวันที่ 30 อิมัลชันทุกอัตราส่วนที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Tween80 ร่วมกับ Span83 เกิดความไม่เสถียรในลักษณะที่ 7 อิมัลชันเปลี่ยนเป็นเจลโปร่งแสงแต่ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่นด้านล่างร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมันที่ด้านบน (ภาพที่ 4.3) และอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Tween80 ร่วมกับ Span85 ทุกอัตราส่วนเกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่นและด้านล่างใส (ลักษณะที่ 2) หลังตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอิมัลชันมีวงแหวนน้ำมันเกิดขึ้นด้านบนอิมัลชันเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน เป็นความไม่เสถียรของอิมัลชันในลักษณะที่ 3 (ตารางที่ 4.8, ภาพที่ 4.3)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85

สัดส่วน น้ำมันหอม: S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween20 : Span20					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween20 : Span80				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	I	II	II	II	1:1	I	III	III	III	V
1:2	I	I	II	II	II	1:2	I	III	III	III	V
1:3	I	I	II	II	II	1:3	I	III	III	III	V
1:4	I	I	II	II	II	1:4	I	III	III	III	V
1:5	I	I	II	II	II	1:5	I	III	III	III	V
1:6	I	I	I	II	II	1:6	I	III	III	III	V
1:7	I	I	I	I	I	1:7	I	III	III	III	V
1:8	I	I	I	I	I	1:8	I	III	III	III	V
1:9	I	I	I	I	I	1:9	I	III	III	III	V

สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween20 : Span83					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween20 : Span85				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	III	III	V	VI	1:1	I	III	VII	IV	VI
1:2	I	III	III	V	VI	1:2	I	III	VII	IV	VI
1:3	I	III	III	V	VI	1:3	I	III	VII	IV	VI
1:4	I	III	III	V	VI	1:4	I	III	III	IV	VI
1:5	I	III	III	V	VI	1:5	I	III	III	IV	VI
1:6	I	III	III	V	VI	1:6	I	III	III	IV	VI
1:7	I	III	III	V	VI	1:7	I	III	III	VI	VI
1:8	I	III	III	V	VI	1:8	I	III	III	VI	VI
1:9	I	III	III	V	VI	1:9	I	III	III	VI	VI

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม, I คือ ลักษณะที่ 1 อิมัลชันเป็นน้ำมันสีขาวเนื้อเดียวกัน, II คือ ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่น ด้านล่างใส, III คือ ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบนอิมัลชัน, IV คือ ลักษณะที่ 4 เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน V คือ ลักษณะที่ 5 เป็นเนื้อเจลใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน, VI คือ ลักษณะที่ 6 เป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน และ VII คือ ลักษณะที่ 7 ตกตะกอนสีขาวขุ่นด้านล่างในเนื้อเจลใสร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween40 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85

สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween40 : Span20					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween40 : Span80				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	III	III	IV	IV	1:1	I	IV	VII	VII	IV
1:2	I	III	III	IV	IV	1:2	I	IV	VII	VII	IV
1:3	I	III	III	IV	IV	1:3	I	IV	VII	VII	IV
1:4	I	III	III	IV	IV	1:4	I	IV	IV	VII	IV
1:5	I	III	III	IV	IV	1:5	I	IV	IV	II	IV
1:6	I	III	III	IV	IV	1:6	I	IV	IV	II	IV
1:7	I	I	III	IV	IV	1:7	I	IV	IV	II	VI
1:8	I	I	I	I	I	1:8	I	I	II	II	VI
1:9	I	I	I	I	I	1:9	I	I	I	II	VI

สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween40 : Span83					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween40 : Span85				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	IV	IV	IV	IV	1:1	I	III	IV	IV	VIII
1:2	I	IV	IV	IV	IV	1:2	I	III	IV	IV	VIII
1:3	I	IV	IV	IV	IV	1:3	I	III	IV	IV	VIII
1:4	I	II	II	IV	IV	1:4	I	III	IV	IV	VIII
1:5	I	II	II	IV	IV	1:5	I	III	IV	IV	VIII
1:6	I	II	II	IV	IV	1:6	I	III	IV	IV	VIII
1:7	I	I	I	II	II	1:7	I	II	IV	IV	VIII
1:8	I	I	I	II	II	1:8	I	II	IV	IV	VIII
1:9	I	I	I	II	II	1:9	I	II	IV	IV	VIII

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม, I คือ ลักษณะที่ 1 อิมัลชันเป็นน้ำมันสีขาวเนื้อเดียวกัน, II คือ ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่น ด้านล่างใส, III คือ ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบน อิมัลชัน, IV คือ ลักษณะที่ 4 เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน, VI คือ ลักษณะที่ 6 เป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน, VII คือ ลักษณะที่ 7 ตกตะกอนสีขาวขุ่นด้านล่างในเนื้อเจลใสร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมันและ VII ลักษณะที่ 8 มีการลอยตัวขึ้นของอนุภาคสารสีขาวขุ่นร่วมกับการเกิดวงแหวนน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween60 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85

สารลดแรงตึงผิว Tween60 : Span20						สารลดแรงตึงผิว Tween60 : Span80					
สัดส่วน	หลังทำ	1	3	7	30	สัดส่วน	หลังทำ	1	3	7	30
น้ำมันหอม :	ทันที	วัน	วัน	วัน	วัน	น้ำมันหอม :	ทันที	วัน	วัน	วัน	วัน
S_{mix}						S_{mix}					
1:1	I	II	II	II	II	1:1	I	II	II	II	III
1:2	I	II	II	III	III	1:2	I	II	II	II	III
1:3	I	II	II	III	III	1:3	I	II	II	II	III
1:4	I	II	II	III	III	1:4	I	II	II	II	VI
1:5	I	II	II	III	III	1:5	I	II	II	II	VI
1:6	I	I	I	III	III	1:6	I	II	II	II	VI
1:7	I	I	I	I	I	1:7	I	II	II	II	VI
1:8	I	I	I	I	I	1:8	I	II	II	II	VI
1:9	I	I	I	I	I	1:9	I	II	II	II	VI

สารลดแรงตึงผิว Tween60 : Span83						สารลดแรงตึงผิว Tween60 : Span85					
สัดส่วน	หลังทำ	1	3	7	30	สัดส่วน	หลังทำ	1	3	7	30
น้ำมันหอม :	ทันที	วัน	วัน	วัน	วัน	น้ำมันหอม :	ทันที	วัน	วัน	วัน	วัน
S_{mix}						S_{mix}					
1:1	I	III	III	III	III	1:1	I	II	II	II	III
1:2	I	III	III	III	III	1:2	I	II	II	II	III
1:3	I	III	III	III	III	1:3	I	II	II	II	II
1:4	I	II	II	II	II	1:4	I	II	II	II	II
1:5	I	II	II	II	II	1:5	I	II	II	II	II
1:6	I	II	II	II	II	1:6	I	II	II	II	II
1:7	I	II	II	II	II	1:7	I	II	II	II	II
1:8	I	II	II	II	II	1:8	I	II	II	II	II
1:9	I	I	I	I	II	1:9	I	II	II	II	II

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม, I คือ ลักษณะที่ 1 อิมัลชันเป็นน้ำมันสีขาวเนื้อเดียวกัน, II คือ ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่น ด้านล่างใส, III คือ ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบน อิมัลชัน และ VI คือ ลักษณะที่ 6 เป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยซึ่งร่วมกับ สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween80 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20, Span80, Span83 และ Span85

สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween80 : Span20					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween80 : Span80				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	III	III	III	VII	1:1	I	III	III	III	VII
1:2	I	III	III	III	VII	1:2	I	III	II	II	VII
1:3	I	III	III	III	VII	1:3	I	III	II	II	VII
1:4	I	III	III	III	VII	1:4	I	III	II	II	VII
1:5	I	I	III	III	VII	1:5	I	III	II	II	VII
1:6	I	I	III	III	VII	1:6	I	III	II	II	VII
1:7	I	I	I	I	VII	1:7	I	III	II	II	VI
1:8	I	I	I	I	I	1:8	I	I	II	II	VI
1:9	I	I	I	I	I	1:9	I	I	I	I	VI

สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween80 : Span83					สัดส่วน น้ำมันหอม : S_{mix}	สารลดแรงตึงผิว Tween80 : Span85				
	หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน		หลังทำ ทันที	1 วัน	3 วัน	7 วัน	30 วัน
1:1	I	II	II	IV	VII	1:1	I	II	II	II	III
1:2	I	II	II	IV	VII	1:2	I	II	II	II	III
1:3	I	II	II	IV	VII	1:3	I	II	II	II	III
1:4	I	II	II	IV	VII	1:4	I	II	II	II	III
1:5	I	II	II	IV	VII	1:5	I	II	II	II	III
1:6	I	II	II	IV	VII	1:6	I	II	II	II	III
1:7	I	I	II	IV	VII	1:7	I	II	II	II	III
1:8	I	I	II	IV	VII	1:8	I	II	II	II	III
1:9	I	I	II	IV	VII	1:9	I	II	II	II	III

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม, I คือ ลักษณะที่ 1 อิมัลชันเป็นน้ำมันสีขาวเนื้อเดียวกัน, II คือ ลักษณะที่ 2 เกิดการแยกชั้นด้านบนเป็นสีขาวขุ่น ด้านล่างใส, III คือ ลักษณะที่ 3 เกิดวงแหวนน้ำมันด้านบน อิมัลชัน, IV คือ ลักษณะที่ 4 เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน, VI คือ ลักษณะที่ 6 เป็นเนื้อเจลสีเหลืองใสร่วมกับมีวงแหวนน้ำมันด้านบน และ VII คือ ลักษณะที่ 7 ตกตะกอนสีขาวขุ่นด้านล่างในเนื้อเจลใสร่วมกับเกิดวงแหวนน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วิเคราะห์ขนาดของอนุภาค ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน (Zeta Potential(ζ))

และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง

น้ำมันหอมระเหยขิงที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 กับสารลดแรงตึงผิวรอง Span20 เป็นระบบอิมัลชันที่มีความเสถียร จึงนำไปวัดขนาดอนุภาค และค่าศักย์ไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวจาก Neopelex ผลการศึกษาพบว่าอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงทุกสูตรมีขนาดอนุภาคน้ำมัน 184.6-418.1 nm (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.4) และจัดเป็นไมโครอิมัลชัน เมื่อนำไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงจำนวน 5 สูตร ไปลดขนาดอนุภาค 2 วิธีการ คือ การใช้คลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเครื่อง Sonicator bath ความถี่ 37 กิโลเฮิร์ตซ์ นาน 30 นาที และเครื่องลดขนาดอนุภาคด้วยแรงดันสูง (High Pressure Homogenizer) ใช้แรงดัน 15,000 psi จำนวน 2 รอบ เมื่อนำมาวัดขนาดอนุภาคน้ำมัน และค่าศักย์ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงทุกสูตรที่ผ่านการลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath มีขนาดของอนุภาคลดลงอยู่ที่ 177.0-260.6 nm ซึ่งยังเป็นระดับไมโครอิมัลชัน ในขณะที่อิมัลชันที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 กับสารลดแรงตึงผิวรอง Span20 ที่ผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดอนุภาค High Pressure Homogenizer ขนาดอนุภาคน้ำมันลดลงอย่างมาก พบว่าขนาดของอนุภาคอิมัลชันอยู่ระหว่าง 48.8-76.4 nm. จัดเป็นนาโนอิมัลชันโดย ในขณะที่สูตรที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex พบขนาดของอนุภาคเท่ากับ 140.9 nm. จัดเป็นไมโครอิมัลชัน

เมื่อศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเสถียรของระบบอิมัลชัน ผลการศึกษาพบว่า สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex ก่อนลดขนาดเท่ากับ -75.29 mV เมื่อเทียบกับสูตรอิมัลชันทุกสูตรที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลักร่วมกับสารลดแรงตึงผิวรองมีค่าศักย์ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง -29.92 ถึง -33.63 mV (ตารางที่ 4.22) แต่เมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าหลังลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath และ High Pressure Homogenizer พบว่า ทุกสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีค่าศักย์ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับก่อนลดขนาด แต่อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex ที่ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer มีค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก -75.29 mV เป็น -56.41 mV อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเสถียรของระบบอิมัลชันที่เตรียมได้ ผลการศึกษาพบว่า ระบบอิมัลชันที่เตรียมได้ทุกสูตรที่ลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath จะมีความเสถียรมากกว่าเมื่อเทียบกับลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer เนื่องจากตามทฤษฎี ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่า -30 mV ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสถียรของระบบอิมัลชันที่ดี ยิ่งค่าศักย์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเป็นลบมากขึ้น ค่าความเสถียรของสูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมได้เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบดัชนีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำมันของอิมัลชันจากสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังลดขนาดผลการศึกษาพบว่าอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20 และ Tween60 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวรอง Span20 มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำมันลดลงเมื่อลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath แต่พบการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer การกระจายตัวของอนุภาค

น้ำมันของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween40 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวรอง Span20 และสารลดแรงตึงผิว Neopelex ลดลงในทุกวิธีการลดขนาด (ตารางที่ 4.23)

ตารางที่ 4.9 ขนาดของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิงก่อนลดขนาดและหลังลดขนาดผ่านเครื่องลดขนาด Sonicator bath และเครื่องลดขนาดอนุภาค High Pressure Homogenizer

สารลดแรงตึงผิวหลัก : สารลดแรงตึงผิวร่วม	น้ำมัน : S_{mix}	ขนาดอนุภาค (nm)		
		ก่อนลดขนาด	หลังลดขนาด	
			Sonicator bath	High Pressure Homogenizer
Neopelex	4 : 1	184.6	177.0	140.9
Tween20 : Span20	1 : 8	418.1	231.6	76.4
Tween40 : Span20	1 : 8	324.3	252.7	69.5
Tween60 : Span20	1 : 9	261.1	228.2	48.8
Tween80 : Span20	1 : 7	285.5	260.6	53.8

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิงก่อนลดขนาดและหลังลดขนาด

สารลดแรงตึงผิวหลัก : สารลดแรงตึงผิวร่วม	น้ำมัน : S_{mix}	ค่าศักย์ไฟฟ้า Zeta potential (mV)		
		ก่อนลดขนาด	หลังลดขนาด	
			Sonicator bath	High Pressure Homogenizer
Neopelex	4 : 1	-75.29	-78.11	-56.41
Tween20 : Span20	1 : 8	-33.63	-37.68	-35.61
Tween40 : Span20	1 : 8	-36.43	-39.34	-23.49
Tween60 : Span20	1 : 9	-29.92	-30.10	-27.24
Tween80 : Span20	1 : 7	-30.16	-32.11	-28.81

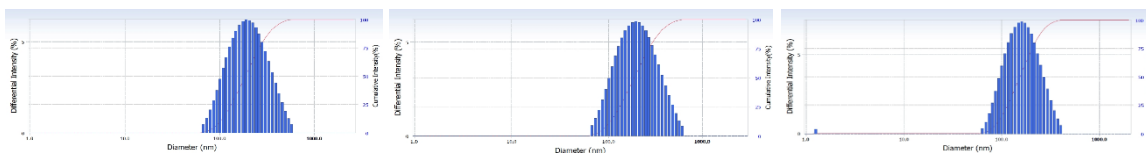
S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม

Neopelex

ก่อนลดขนาด

ลดขนาดด้วย Sonicator bath

ลดขนาดด้วย High Pressure Homogenizer

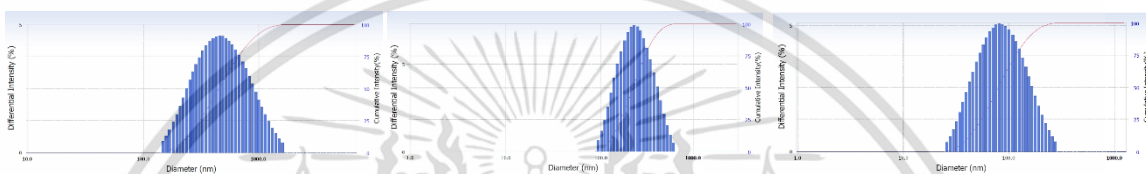


Tween20 : Span20

ก่อนลดขนาด

ลดขนาดด้วย Sonicator bath

ลดขนาดด้วย High Pressure Homogenizer

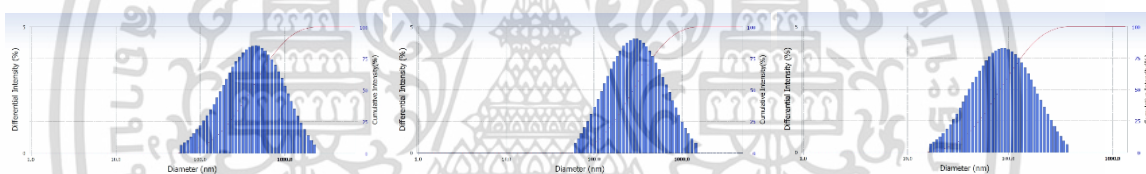


Tween40 : Span20

ก่อนลดขนาด

ลดขนาดด้วย Sonicator bath

ลดขนาดด้วย High Pressure Homogenizer

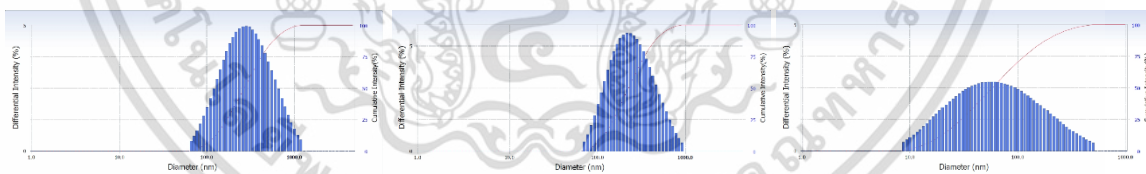


Tween60 : Span20

ก่อนลดขนาด

ลดขนาดด้วย Sonicator bath

ลดขนาดด้วย High Pressure Homogenizer

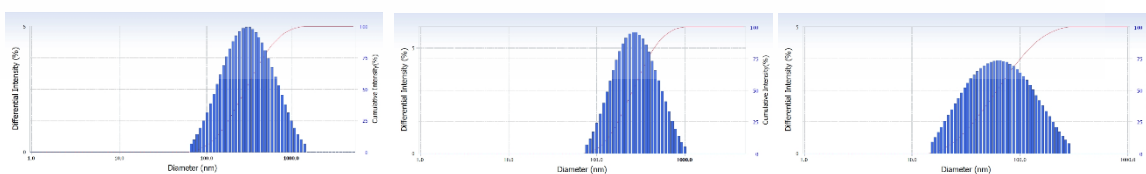


Tween80 : Span20

ก่อนลดขนาด

ลดขนาดด้วย Sonicator bath

ลดขนาดด้วย High Pressure Homogenizer



ภาพที่ 4.4 ขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน ก่อนลดขนาดและหลังลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicator bath และ เครื่อง High Pressure Homogenizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ดัชนีการกระจายขนาดอนุภาคน้ำมันหอมระเหยจากซิงก่อนลดขนาดและหลังลดขนาดผ่านเครื่องลดขนาด Sonicator bath และเครื่องลดขนาดอนุภาค High Pressure Homogenizer

สารลดแรงตึงผิวหลัก : สารลดแรงตึงผิวร่วม	น้ำมัน : S_{mix}	Polydispersity Index (P.I.)		
		ก่อนลดขนาด	หลังลดขนาด	
			Sonicator bath	Homogenizer
Neopelex	4 : 1	0.190	0.166	0.109
Tween20 : Span20	1 : 8	0.288	0.217	0.241
Tween40 : Span20	1 : 8	0.320	0.276	0.269
Tween60 : Span20	1 : 9	0.270	0.268	0.313
Tween80 : Span20	1 : 7	0.262	0.263	0.263

S_{mix} คือ สารลดแรงตึงผิวหลักผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม

4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากซิง

4.3.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากซิงด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH^{*} ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียรสูง เมื่อสารสามารถจับกับอนุมูล DPPH^{*} แล้วสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลือง พบว่า ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH^{*} ได้ดีกว่าไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงก่อนลดขนาดในทุกกรรมวิธี ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween60 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath และก่อนลดขนาด มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $183.88 \pm 22.02 \mu\text{g/mL}$ และ $237.55 \pm 20.57 \mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ รองลงมาคือ ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween80, Tween40 และ Tween20 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 และสารลดแรงตึงผิว neopelex อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากซิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยพบว่า หลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH^{*} ลดลง โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $1,761.87 \pm 64.41$, 708.55 ± 48.36 , 751.36 ± 80.47 และ $1,295.10 \pm 55.78 \mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากซิงที่ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอลมี IC_{50} เท่ากับ $8798.49 \pm 1036.43 \mu\text{g/mL}$ และ วิตามินซีมีค่า IC_{50} เท่ากับ $23.9 \pm 4.32 \mu\text{g/mL}$ (ตาราง 4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากชิงด้วยวิธี DPPH ของน้ำมันหอมระเหยจากชิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชัน

กรรมวิธี	ความเข้มข้น (ppm)/กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (%)																EC ₅₀ (ppm)
	1	3	5	10	50	100	250	500	750	1000	2000	3000	4000	5000	10000		
สารทดสอบ/สารลดแรงตึงผิว																	
สารมาตรฐาน (วิตามินซี)	5.01	21.79	46.31	69.31	74.46												
น้ำมันหอมระเหยจากชิงบริสุทธิ์										10.55	20.04	28.55		39.23	54.97	8423.21±104.43a	
Neopelex						10.81	26.94	54.32	69.28	76.67						434.17±79.39d	
Tween20:Span20	ก่อนลดขนาด					18.86	39.26	49.60	65.09	74.12						405.35±19.03d	
	Sonicator bath					20.24	37.60	56.97	77.50	88.51						319.19±54.96d	
	High Pressure Homogenizer									34.91	45.17	55.31	100	100		1761.87±64.41b	
Tween40:Span20	ก่อนลดขนาด					3.82	29.06	60.40	75.90	99.41						358.09±12.93d	
	Sonicator bath					6.05	24.63	52.11	80.74	94.11						377.97±14.54d	
	High Pressure Homogenizer									54.70	81.00	87.21	100	100		708.55±48.36cd	
Tween60:Span20	ก่อนลดขนาด					15.36	39.98	99.26	100	100						237.55±20.57d	
	Sonicator bath					23.18	62.10	100	100	100						183.88±22.02d	
	High Pressure Homogenizer									49.98	93.44	99.99	100	100		751.36±80.47cd	
Tween80:Span20	ก่อนลดขนาด					18.72	37.03	81.48	99.95	100						252.43±19.14d	
	Sonicator bath					15.31	44.12	89.68	99.98	100						240.72±21.88d	
	High Pressure Homogenizer									38.23	67.21	87.29	99.63	100		1295.10±55.78bc	
F-test																	
CV																	

หมายเหตุ Sonicator bath คือ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath, High Pressure Homogenizer คือ ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer และ

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการแย่งจับกับโลหะไอออนด้วยวิธี Metal chelating activity

การทดสอบความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนของน้ำมันหอมระเหยจากขิงและอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชัน โดยวิธี Metal chelating activity พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ละลายด้วยเอทานอลความเข้มข้นสูงถึง 60,000 ppm สามารถแย่งจับโลหะไอออนได้เพียง 9.66% เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน EDTA ที่ความเข้มข้น 50 -1,000 ppm มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้ 15.84% - 97.45% จากผลการทดลองพบว่า ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิว Neopelex ที่ความเข้มข้น 1,000-10,000 ppm มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้ 18.70-97.79% ในขณะที่ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ก่อนลดขนาดและลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath ในทุกความเข้มข้น ไม่มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออน แต่พบว่า ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween40 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm เพียงชนิดเดียวที่มีสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้ 8.20% ในขณะที่นาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า นาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween60 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ความเข้มข้น 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 ppm มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนมากกว่านาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลักอื่น โดยพบความสามารถในแย่งจับโลหะไอออนได้ 3.36%, 6.83%, 11.46%, 16.82% และ 27.23% ตามลำดับ รองลงมาคือ นาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลักหลัก Tween20 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ความเข้มข้น 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 ppm มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออน 5.11%, 6.75%, 7.57%, 9.71% และ 11.04% ตามลำดับ นาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลักหลัก Tween40 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ความเข้มข้น 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 และ 10,000 ppm สามารถแย่งจับโลหะไอออนได้ 0.32%, 2.47%, 2.90%, 3.87%, 4.79% ตามลำดับ แต่พบว่า นาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลักหลัก Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 ที่ความเข้มข้น 2,500 และ 5,000 ppm สามารถแย่งจับโลหะไอออนได้ที่ 2.91% และ 3.12% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการแย่งจับกับโลหะไอออนด้วยวิธี Metal chelating activity ของน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชัน

กรรมวิธี	ความเข้มข้น (ppm) /กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (%)														
	50	100	250	500	1000	2500	5000	7500	10000	60000	70000	80000	90000	100000	
สารทดสอบ/สารลดแรงตึงผิว															
สารมาตรฐาน (EDTA)	15.84	33.10	76.82	81.43	100					100±00a					
น้ำมันหอมระเหยจากขิงบริสุทธิ์										0.00±0.00f	9.66	17.35	24.22	38.46	40.26
Neopelex					18.70	72.18	95.71	97.43		97.79±0.01b					
Tween20:Span20	ก่อนลดขนาด				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	Sonicator bath				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	High Pressure Homogenizer				5.11	6.75	7.57	9.71		11.04±0.01d					
Tween40:Span20	ก่อนลดขนาด				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	Sonicator bath				8.20	0	0	0		0.00±0.00f					
	High Pressure Homogenizer				0.32	2.47	2.90	3.87		4.79±0.01e					
Tween60:Span20	ก่อนลดขนาด				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	Sonicator bath				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	High Pressure Homogenizer				3.36	6.83	11.46	16.82		27.23±0.03c					
Tween80:Span20	ก่อนลดขนาด				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	Sonicator bath				0	0	0	0		0.00±0.00f					
	High Pressure Homogenizer				0	2.91	3.12	0		0.00±0.00f					
F-test										*					
CV										7.45					

หมายเหตุ Sonicator bath คือ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath, High Pressure Homogenizer คือ ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer และ

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วยวิธี ABTS

การศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจากขิงและอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชัน โดยวิธี ABTS Assay พบว่า ไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลักชนิดเดียวกันในทุกกรรมวิธีมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS^{•+} ไม่แตกต่างกันและยังพบว่าไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween40 และสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล ABTS^{•+} ได้ดีกว่าไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวในทุกกรรมวิธี พบว่ามีค่า IC₅₀ เท่ากับ 5014.70 ± 454.54, 4638.58 ± 355.21 และ 4959.30 ± 188.05 µg/mL ตามลำดับ รองลงมาคือ ไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween60, Tween80 และ Tween20 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 พบว่า ไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex มีค่า IC₅₀ มากกว่า 20,000 µg/mL ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยขิงที่ละลายในเอทานอลมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 8423.21 ± 39.24 µg/mL เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ วิตามินซีมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 254.95 ± 9.34 µg/mL (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วยวิธี ABTS ของน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชัน

กรรมวิธี	กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ (%)/ความเข้มข้น (ppm)													EC ₅₀ (ppm)
	100	250	500	750	1000	2500	5000	7500	10000	20000	30000	40000	50000	
สารทดสอบ/สารลดแรงตึงผิว	100	250	500	750	1000	2500	5000	7500	10000	20000	30000	40000	50000	
สารมาตรฐาน (วิตามินซี)	17.64	38.81	79.47	99.46	99.80									254.95 ± 9.34g
น้ำมันหอมระเหยจากขิงบริสุทธิ์					7.92		28.04		53.82	56.06	57.66	61.90	94.65	8423.21 ± 39.24b
Neopelex									32.42	38.55	56.05	57.66	61.90	26975.39 ± 731.20a
Tween20:Span20 ก่อนลดขนาด					6.50	18.66	36.88	49.21	62.81					7415.79 ± 315.16cb
					5.27	18.68	35.93	52.02	62.33					7247.61 ± 140.06cb
					8.77	19.04	42.65	47.91	63.03					7173.71 ± 1361.48cbd
Tween40:Span20 ก่อนลดขนาด					9.43	27.88	49.04	65.83	72.91					5014.70 ± 454.54f
					10.44	28.06	48.22	62.67	70.69					4638.58 ± 355.21f
					10.13	25.79	45.46	62.49	73.28					4959.30 ± 188.05f
Tween60:Span20 ก่อนลดขนาด					11.62	25.13	45.40	62.14	68.48					5909.20 ± 142.81cdef
					7.76	25.98	43.91	58.21	69.67					5411.85 ± 591.12ef
					10.07	23.30	41.35	54.86	67.13					5548.59 ± 813.69def
Tween80:Span20 ก่อนลดขนาด					6.80	20.65	35.11	57.43	68.93					6228.29 ± 388.25cdef
					9.26	22.27	42.54	60.61	70.84					5497.96 ± 489.78ef
					9.31	20.92	38.94	51.98	62.91					6961.14 ± 583.39bcde
F-test														*
CV														7.75

หมายเหตุ Sonicator bath คือ อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath, High Pressure Homogenizer คือ ลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer และ

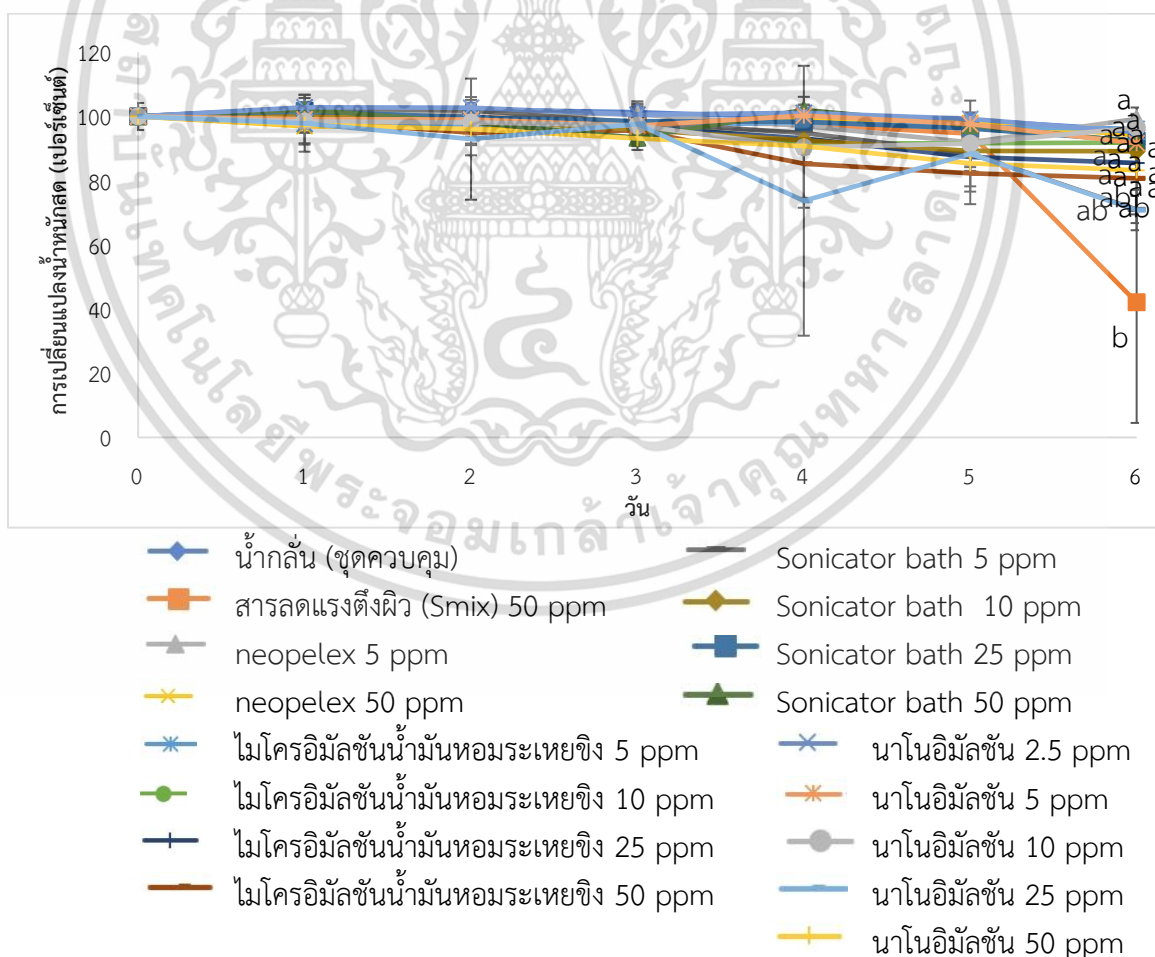
* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความเข้มข้นของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่ออายุปักแจกันของใบเฟินนาคราช

4.4.1 การศึกษาผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราช

การปักแจกันด้วยสารส่งเสริมคุณภาพไมโครและนาโนอิมัลชันที่เตรียมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากชิงร่วมกับลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20 และสารลดแรงตึงผิว neopelex เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) โดยกำหนดให้น้ำหนักสดวันแรกของการปักแจกัน เท่ากับ 100% ผลการศึกษาพบว่า ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และเริ่มลดลงในวันที่ 3 ไปจนถึงวันที่ 6 ของการปักแจกัน

วันที่ 6 ของการปักแจกัน พบว่า ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันเกือบทุกกรรมวิธีมีน้ำหนักสดลดลงน้อยกว่าชั่งที่ ยกเว้นใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วย สารลดแรงตึงผิว (S_{mix}) ความเข้มข้น 50 ppm ที่มีน้ำหนักสดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง ความเข้มข้น 50 ppm, ไมโครอิมัลชันที่ลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicator bath ความเข้มข้น 25 ppm และนาโนอิมัลชันความเข้มข้น 25 ppm มีน้ำหนักสดลดลงแต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น (ภาพที่ 4.5)

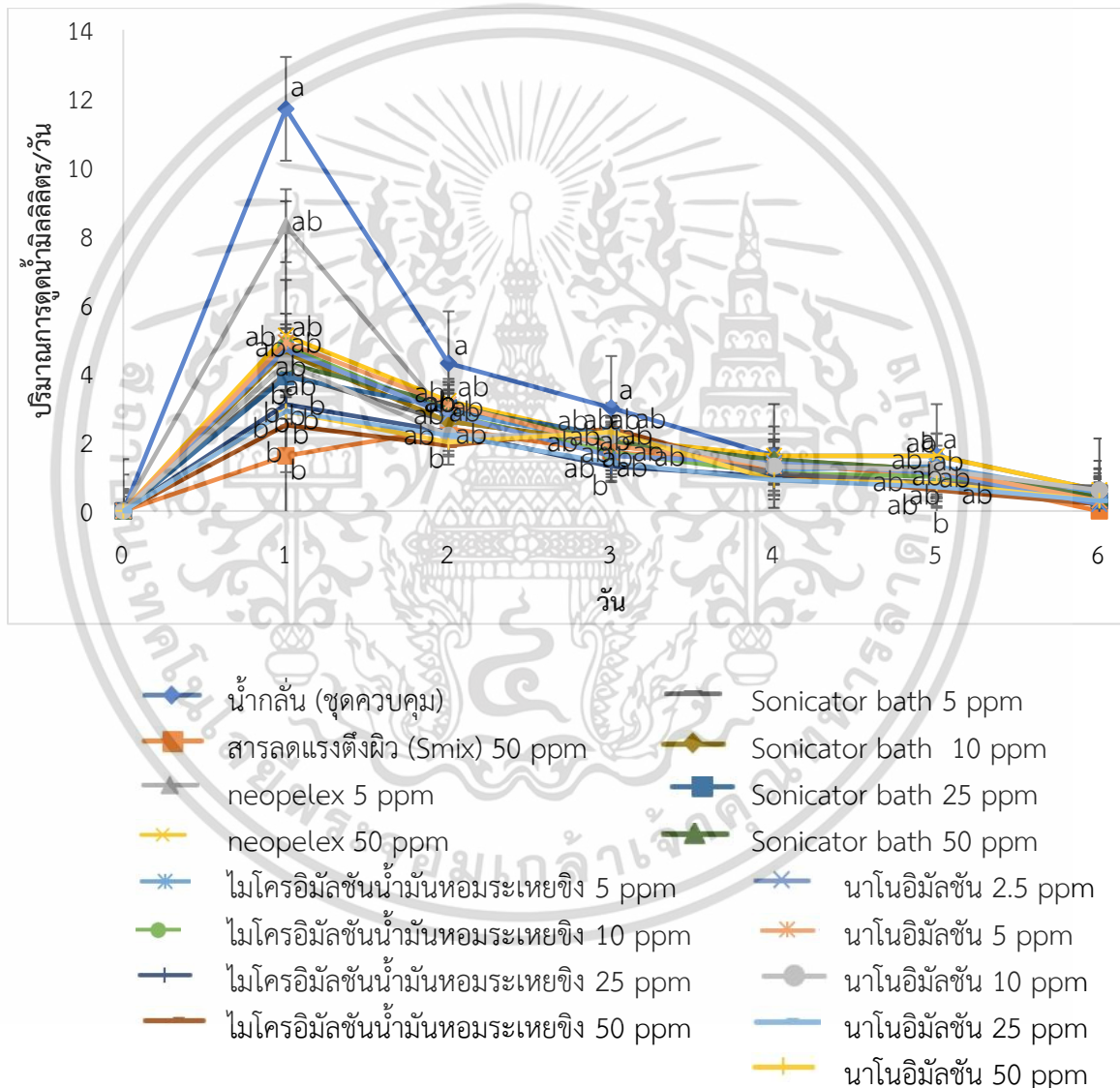


ภาพที่ 4.5 ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของใบเฟินนาคราชปักแจกัน 6 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การศึกษาผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่อการดูดน้ำของใบพืชนาคราช

การศึกษาการดูดน้ำของใบพืชนาคราชหลังปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันโดยความเข้มข้นต่างกัน ทำการวัดอัตราการดูดน้ำทุกวันของการปักแจกัน พบว่า วันที่ 1-5 ของการปักแจกันใบพืชนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) มีอัตราการดูดน้ำสูงสุด ที่ 11.7, 4.3, 3.0, 1.6 และ 1.6 มิลลิลิตร/วัน ตามลำดับ ในขณะที่ใบพืชนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันกรรมวิธีต่าง ๆ มีปริมาณการดูดน้ำไม่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 2-6 ของการปักแจกัน (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่อปริมาณการดูดน้ำของใบพืชนาคราชปักแจกัน 6 วัน

4.4.3 การศึกษาผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่ออายุปักแจกันของใบเฟินนาคราช

การศึกษาประสิทธิภาพของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่ออายุปักแจกันของใบเฟินนาคราช โดยนำใบเฟินนาคราชมานำปักแจกันในอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิวหลักร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ความเข้มข้น 50 ppm ไมโครอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex ความเข้มข้น 5 และ 50 ppm ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงก่อนลดขนาดและลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath ความเข้มข้น 5, 10, 25 และ 50 ppm นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิงลดขนาดผ่านเครื่อง High Pressure Homogenizer ความเข้มข้น 2.5, 5, 10, 25, และ 50 ppm และน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ผลการศึกษาพบว่าอายุปักแจกันของใบเฟินนาคราชในทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติจากตารางที่ 4.15 พบว่า ความเข้มข้นของไมโครและนาโนอิมัลชันระหว่าง 5-10 ppm ทำให้ใบเฟินนาคราชมีอายุปักแจกันนานกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ โดยพบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex ความเข้มข้น 5 และ 50 ppm ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm มีอายุปักแจกันนานที่สุดที่ 7.3 วัน รองลงมาคือ นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 และ 2.5 ppm ตามลำดับ ในขณะที่การปักแจกันในน้ำที่ผสมสารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียวมีอายุปักแจกันน้อยที่สุดเพียง 5.8 วัน (ตาราง 4.15)

ตารางที่ 4.15 ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงต่ออายุปักแจกันของใบเฟิน
นาคราช

กรรมวิธี		อายุปักแจกัน
สารปักแจกัน	ความเข้มข้น (ppm)	(วัน)
น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)		6.9±0.57
สารลดแรงตึงผิวหลักและสารลดแรงตึงผิวร่วม (S _{mix})	50	5.8±0.79
อิมัลชันน้ำมันหอมจากชิง/สารลดแรงตึงผิว neopelex	5	7.3±1.42
อิมัลชันน้ำมันหอมจากชิง/สารลดแรงตึงผิว neopelex	50	7.3±0.82
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	5	6.9±0.57
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	10	6.7±0.67
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	25	6.3±0.95
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	50	6.3±1.16
ไมโครอิมัลชันลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath	5	6.6±12.45
ไมโครอิมัลชัน ลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath	10	7.3±9.85
ไมโครอิมัลชันลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath	25	5.9±10.15
ไมโครอิมัลชัน ลดขนาดโดยผ่านเครื่อง Sonicator bath	50	6.4±9.80
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	2.5	7.1±2.13
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	5	7.2±2.10
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	10	7.3±0.48
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	25	5.8±1.55
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง	50	6.8±0.42
F- test		ns
CV		16.43

ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

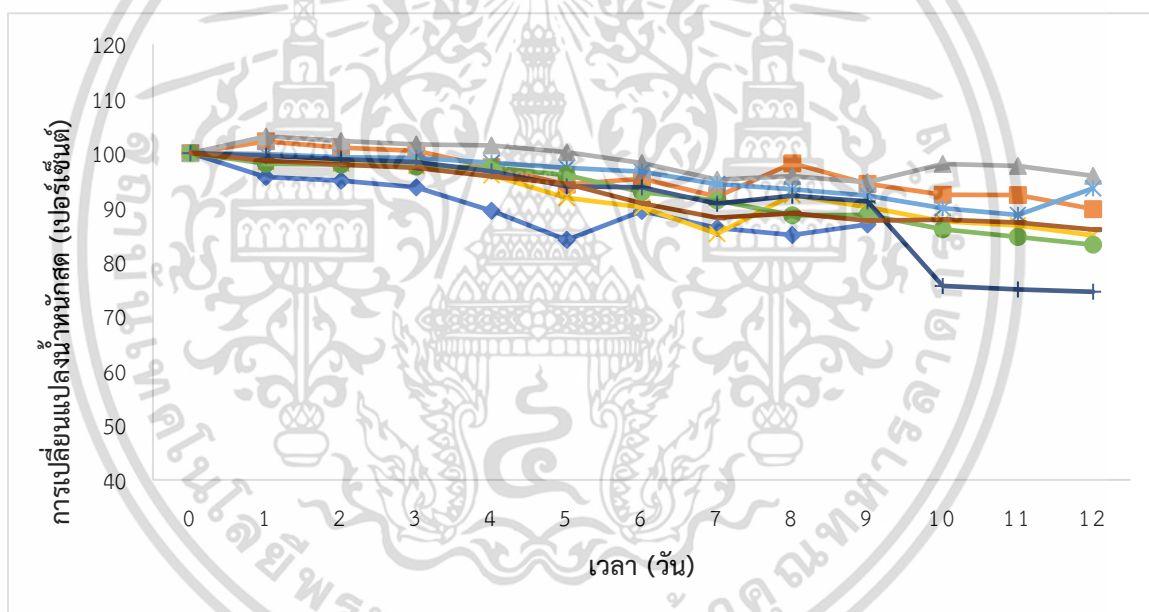
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลไมโครและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่ออายุการใช้งานของไบเฟินนาคราชและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของไบเฟินนาคราชปักแจกัน

4.5.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราช

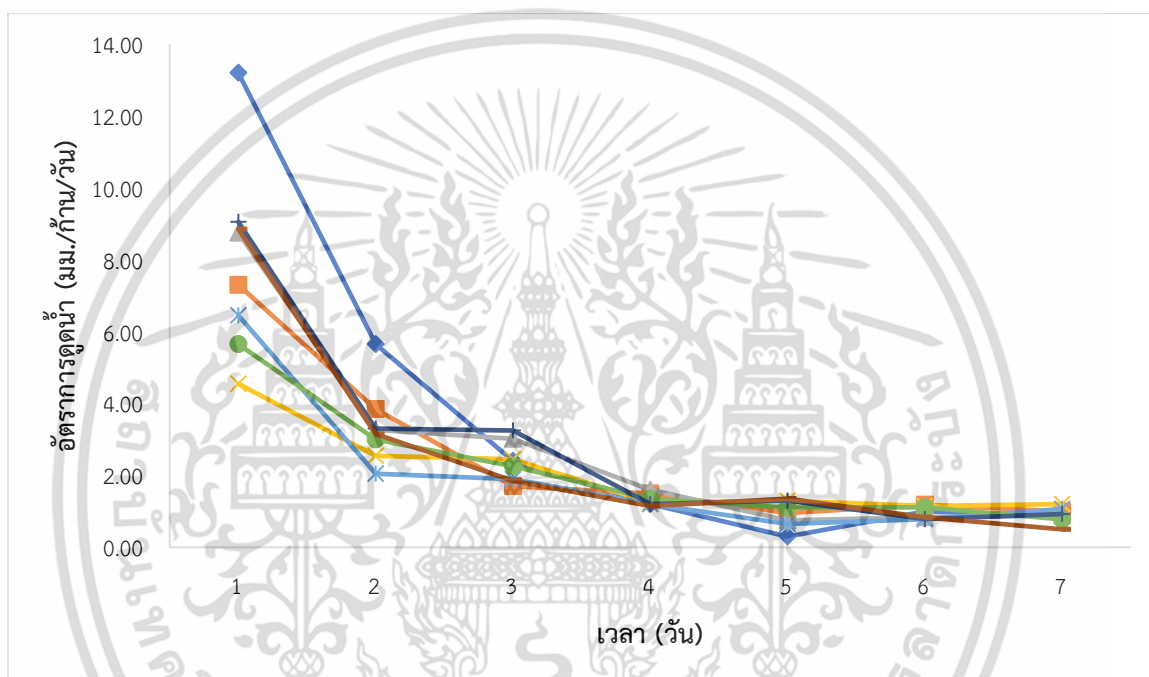
ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครอิมัลชันและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยน้ำมันหอมระเหยจากขิงร่วมกับลดแรงตึงผิว (S_{mix}) คือ tween20 ร่วมกับ span20 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ พบว่าไบเฟินนาคราชที่ปักด้วยสารละลายไมโครอิมัลชันความเข้มข้น 10 ppm พบการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด รองลงมา คือ น้ำมันหอมระเหยขิงร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Neopelex และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm แต่พบว่าไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด ในขณะที่ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครอิมัลชันและนาโนอิมัลชันสูตรอื่นมีน้ำหนักสดค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดของไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง น้ำกลั่น (◆) น้ำมันหอมระเหยจากขิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex ความเข้มข้น 50 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm (✕), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 10 ppm (▲), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ผสมโดยผ่านเครื่อง Sonicate ความเข้มข้น 5 ppm (●), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate ความเข้มข้น 10 ppm (✱), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm (—) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm (⊕)

4.5.1.2 อัตราการดูดน้ำของไบเฟินนาคราชในระหว่างปักแจกัน

ไบเฟินนาคราชมีอัตราการดูดน้ำสูงที่สุดในวันแรกและลดลงอย่างต่อเนื่อง จนหมดอายุปักแจกัน ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นมีอัตราการดูดน้ำต่อวัน รองลงมาคือ ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm และไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm ตามลำดับ ในขณะที่ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm ไบเฟินนาคราชมีอัตราการดูดน้ำน้อยที่สุดตามข้อมูลแสดงภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 อัตราการดูดน้ำของไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ในน้ำกลั่น (◆) น้ำมันหอมระเหยจากขิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex ความเข้มข้น 50 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm (✱), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 10 ppm (▲), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ผสมโดยผ่านเครื่อง Sonicate ความเข้มข้น 5 ppm (●), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate ความเข้มข้น 10 ppm (✱), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm (✚)

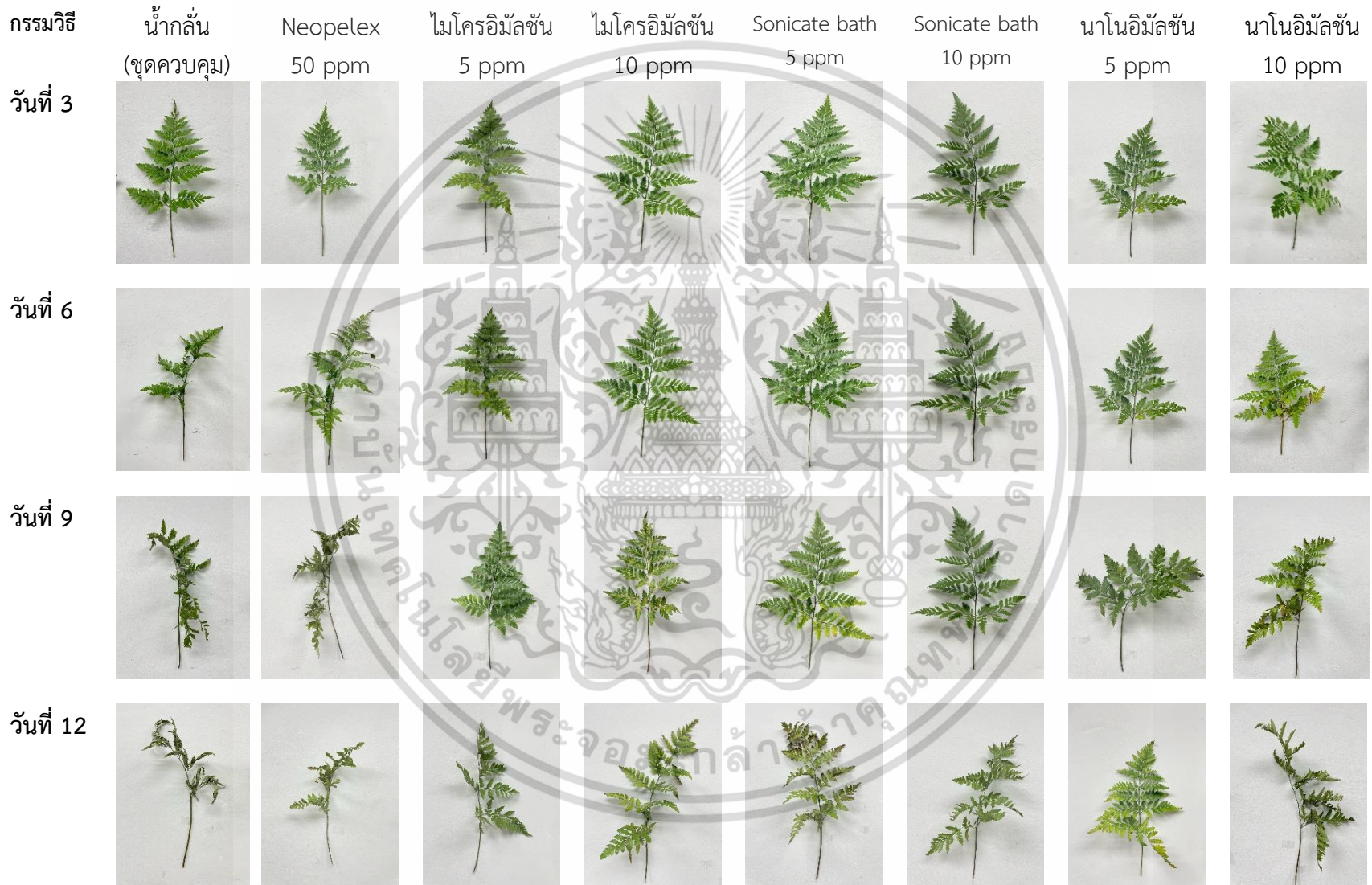
4.5.1.3 อายุการปักแฉก

ผลการศึกษาอายุปักแฉกของใบเฟินนาคราช พบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักในไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm มีอายุปักแฉกนานที่สุด เท่ากับ 13.20 และ 13.40 วัน ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5, 10 ppm และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm มีอายุปักแฉก 10.60, 11.90 และ 12.00 วัน ตามลำดับ ในขณะที่ใบเฟินนาคราชที่ปักแฉกด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm มีอายุปักแฉกน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีอายุปักแฉกนาน 6.40 และ 6.00 วันตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 อายุปักแฉกของใบเฟินนาคราชที่ปักแฉกในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

กรรมวิธี	ความเข้มข้น (ppm)	อายุปักแฉก (วัน)
น้ำกลั่น		6.00 ± 0.75b
น้ำมันหอมระเหยขิง/neopelex	50	7.00 ± 0.63ab
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	5	10.60 ± 3.19ab
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	10	11.90 ± 4.22ab
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicate bath	5	13.20 ± 4.36a
ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง/Sonicate bath	10	13.40 ± 4.36a
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	5	12.00 ± 4.93ab
นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	10	6.40 ± 1.37b
F-test		*
CV (%)		6.00

หมายเหตุ * คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



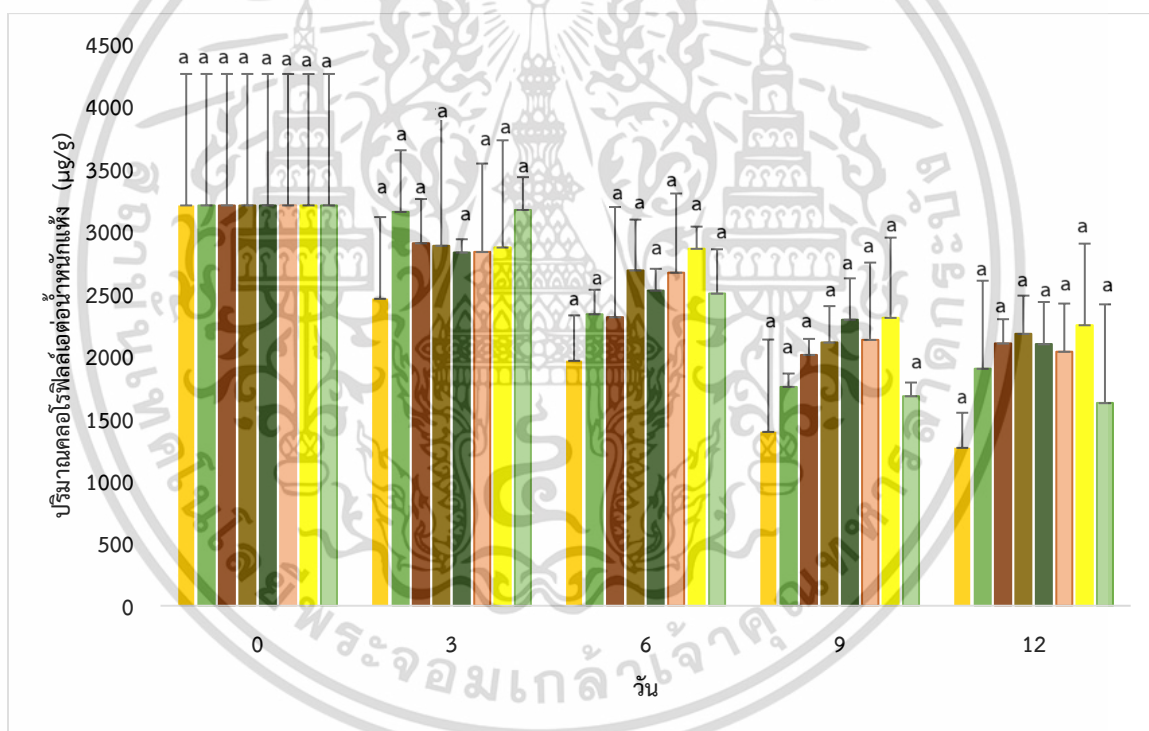
ภาพที่ 4.9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายนอกของใบเฟินนาคราชหลังปักแจกัน

4.5.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่ม

4.5.2.1 ศึกษาปริมาณสารคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบเฟินนาคราช

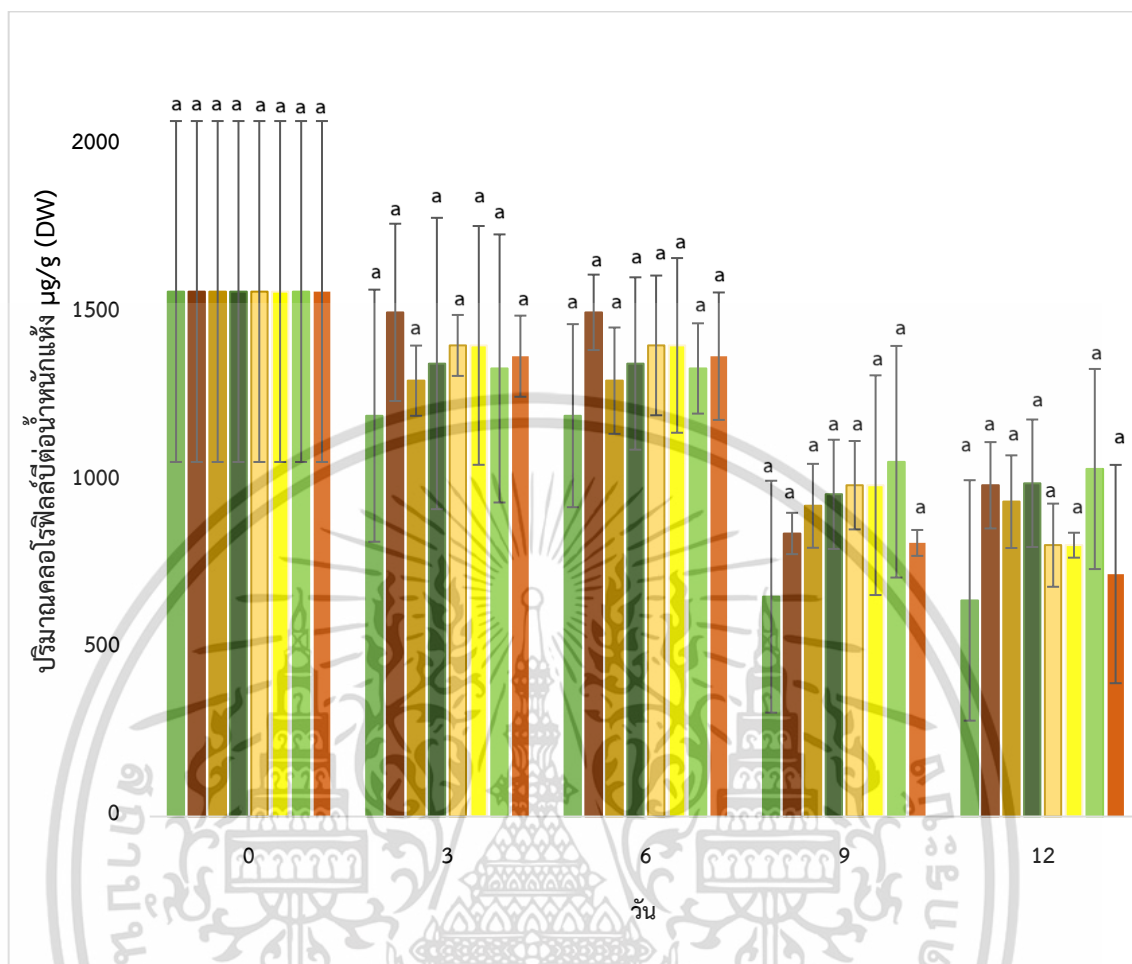
ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและปริมาณแคโรทีนอยด์ของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่น ไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิงในทุกระบบวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นและน้ำมันหอมระเหยชิงในทุกระบบวิธีจะลดลงอย่างต่อเนื่อง

วันที่ 12 ของการปักแจกันปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นเท่ากับ 3208.05, 1564.23, 4772.28 และ 705.373 $\mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ และใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยชิง 5 ppm พบปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์มากที่สุด 2,248.12, 1,035.40, 3,283.52 และ 567.13 $\mu\text{g/g}$ (DW) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13)

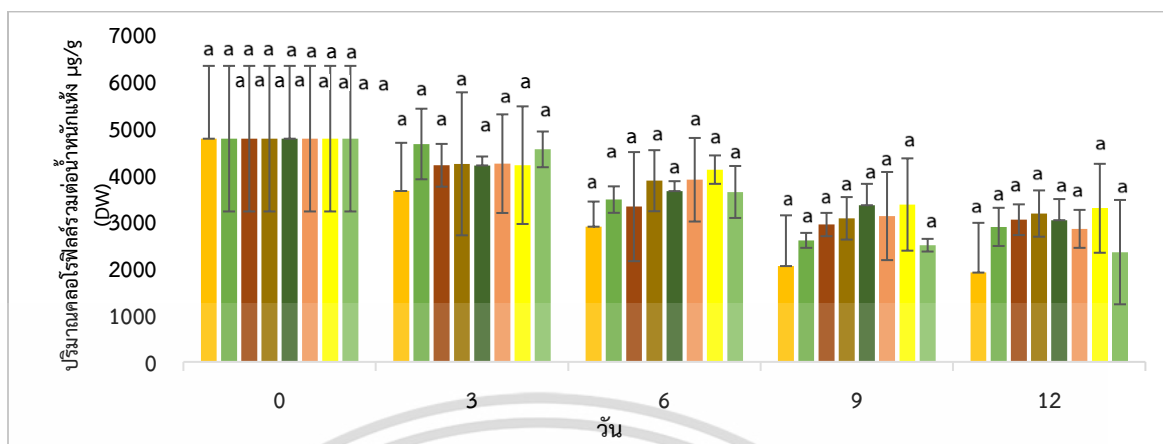


ภาพที่ 4.10 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อน้ำหนักแห้งในใบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น (■), น้ำมันหอมระเหยชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 50 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm (■)

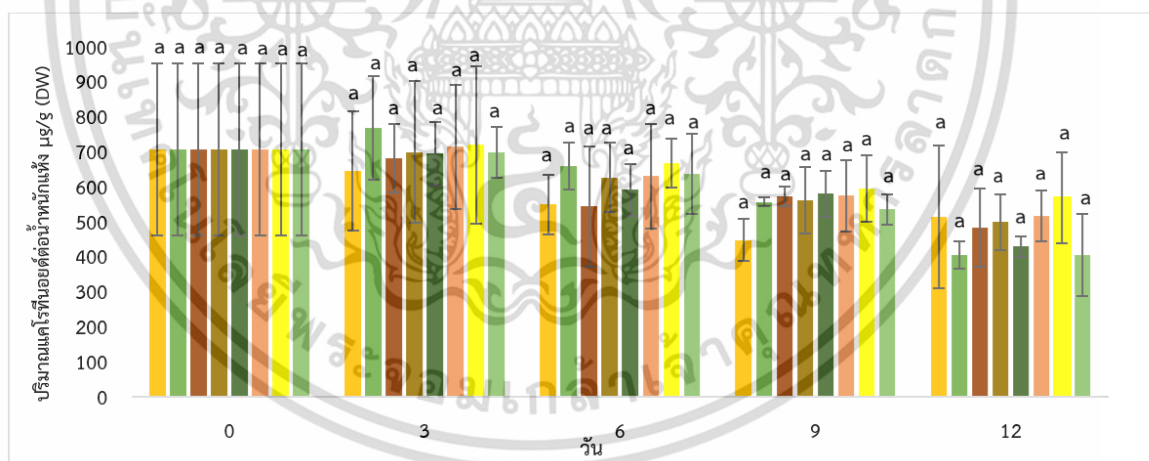
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์บีต่อน้ำหนักแห้งในใบเพ็นนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น (■), น้ำมันหอมระเหยชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm (■)



ภาพที่ 4.12 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่อน้ำหนักแห้งในใบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น (■), น้ำมันหอมระเหยชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm (■)

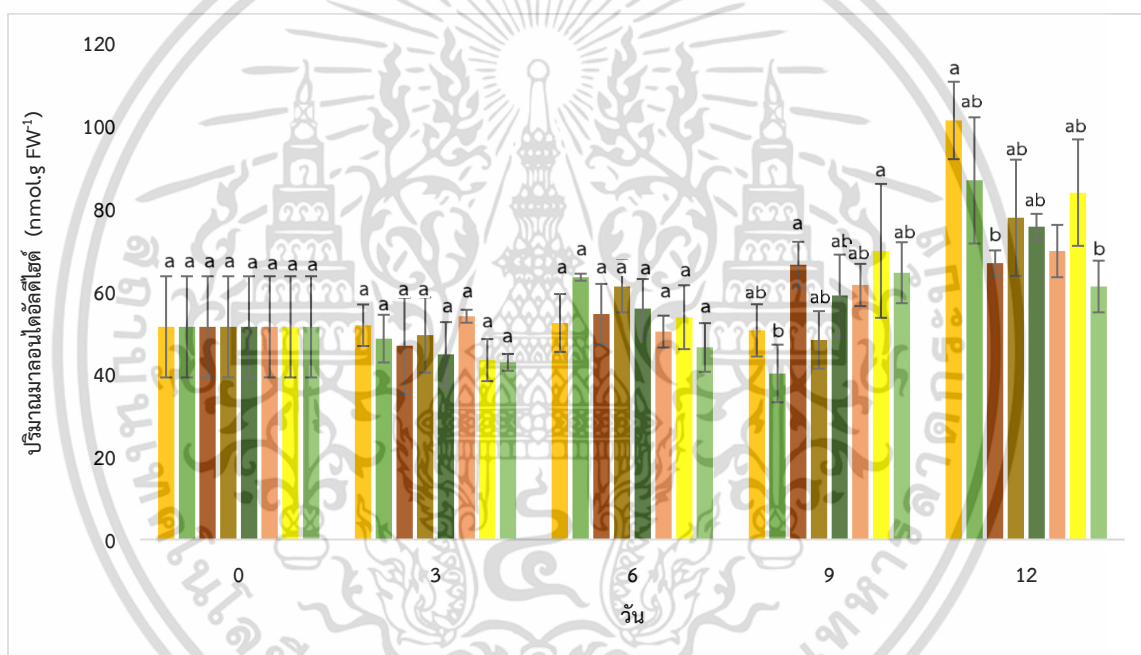


ภาพที่ 4.13 ปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อน้ำหนักแห้งในใบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น (■), น้ำมันหอมระเหยชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm (■)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation (MDA)

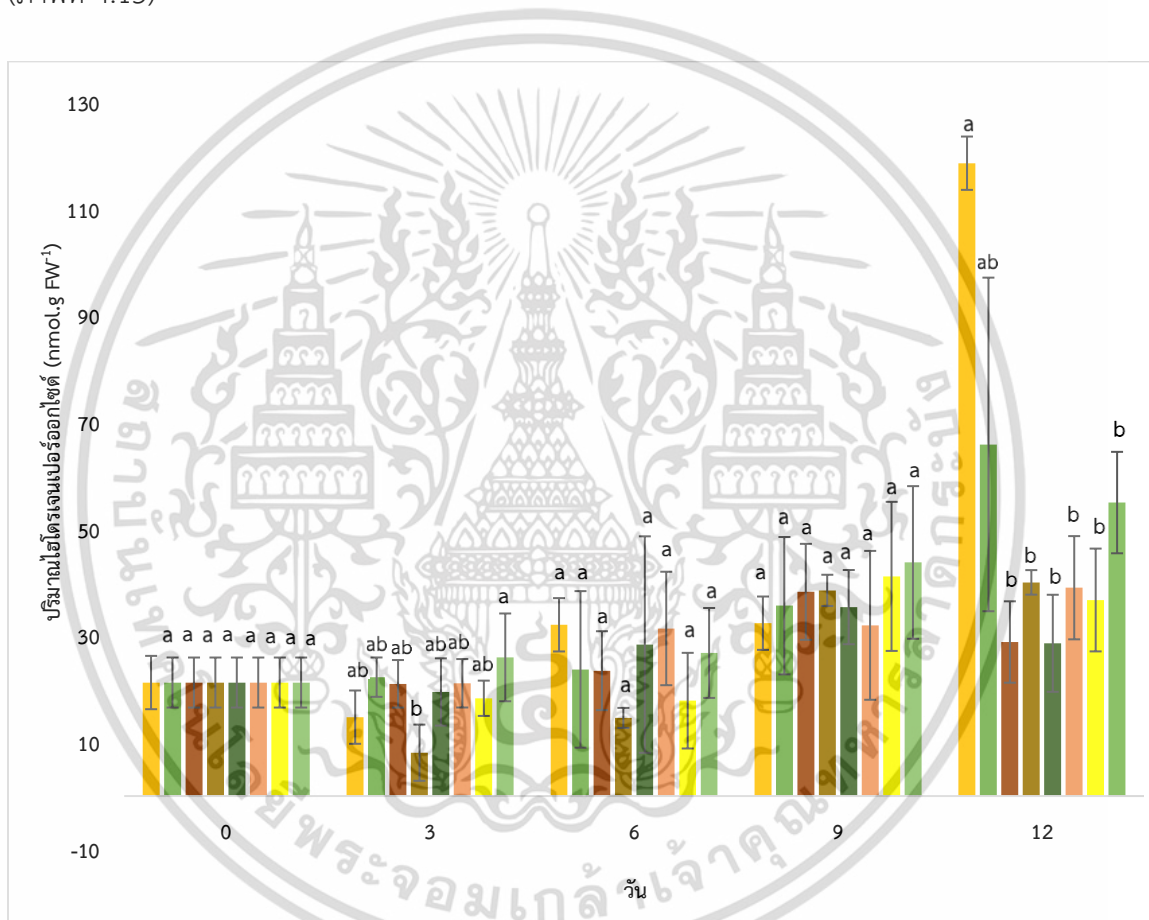
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบเฟินนาคราชหลังปักแจกันในน้ำกลั่นและอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยขิง พบว่า พบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันใต้น้ำกลั่นและปักแจกันใต้น้ำมันหอมระเหยทุกกรรมวิธีมีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ไม่แตกต่างกันในวันที่ 6 วันที่ 9 ของการปักแจกัน ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของใบเฟินนาคราชที่ปักด้วยชุดควบคุมน้ำกลั่น, น้ำมันหอมระเหยขิงร่วมกับสารลดแรงตึงผิว neopelex และ ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 10 ppm มีปริมาณลดลง ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆ มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น และวันที่ 12 พบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm มีปริมาณลดลงกว่าวันที่ 9 ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นมีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้นและพบว่า ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยชุดควบคุมน้ำกลั่นมีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์มากที่สุด (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในใบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น(■), น้ำมันหอมระเหยขิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงความเข้มข้น 10 ppm (■)

4.5.2.3 การศึกษาปริมาณ hydrogen peroxide (H₂O₂)

จากการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันพบว่า ใบเฟินนาคราชมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นระหว่างปักแจกันในวันที่ 3, 6 และ 9 ของการปักแจกัน ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ไม่แตกต่างต่างกับใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันใต้น้ำมันหอมระเหยชิง ในวันที่ 12 ของการปักแจกัน ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นแตกต่างจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยสารละลายไมโครและนาโนอิมัลชันในทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟินนาคราชวันที่ 0, 3, 6, 9 และ 12 น้ำกลั่น (■), น้ำมันหอมระเหยชิงและสารลดแรงตึงผิว neopelex (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิง ความเข้มข้น 10 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm (■), ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 10 ppm (■), นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 5 ppm (■) และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงความเข้มข้น 10 ppm (■)

4.5.2.4 ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกัน โดยวิธี DPPH

จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกัน พบว่าสารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นและน้ำมันหอมระเหยชิงทุกระบบวิธี มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 3 ไปจนถึงวันที่ 12 โดยพบว่าในวันที่ 12 สารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดจากใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำมันหอมระเหยชิงทุกระบบวิธี (ตารางที่ 4.17)



ตารางที่ 4.17 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืชนาคราชที่ปกแก้งั้นความเข้มข้น 0.005% โดยวิธี DPPH

กรรมวิธี	ความเข้มข้น (ppm)	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (%)				
		วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12
1. น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)		83.99 ± 0.03	39.60 ± 3.92b	14.21 ± 4.70a	30.91 ± 3.40a	33.84 ± 21.35a
2. ไมโครอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิว Neopelex	50		62.39 ± 10.57a	12.86 ± 13.80a	34.23 ± 5.41a	21.20 ± 13.91ab
3. ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	5		25.08 ± 5.53bc	14.23 ± 5.45a	23.56 ± 4.40ab	6.17 ± 9.96ab
4. ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	10		24.39 ± 2.75c	16.10 ± 9.89a	32.36 ± 0.20a	8.34 ± 5.13ab
5. ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath	5		34.70 ± 1.79b	21.56 ± 4.35a	11.75 ± 3.40b	4.15 ± 6.66b
6. ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงลดขนาดด้วยเครื่อง Sonicate bath	10		24.11 ± 2.88c	26.18 ± 9.44a	16.92 ± 12.84ab	1.39 ± 8.77b
7. นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	5		39.55 ± 6.07b	26.45 ± 2.18a	19.52 ± 4.54ab	7.54 ± 0.91ab
8. นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง	10		33.89 ± 3.79bc	21.43 ± 5.95a	23.09 ± 8.64ab	26.16 ± 4.65ab
F-test			*	ns	*	*
CV		3.48	15.05	40.84	26.79	70.23

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีของใบเฟินนาคราช นำใบเฟินนาคราชปักแจกันในน้ำกลั่น เมื่อเริ่มต้นปักแจกันใบเฟินนาคราชมีอัตราการดูดน้ำสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระยะที่ 2 ไปจนถึงระยะที่ 4 และอัตราการดูดน้ำสะสมเริ่มคงที่เมื่อใบเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นจากระยะที่ 4 ไปถึงระยะที่ 5 ใบเฟินนาคราชดูดน้ำลดลงอาจมีสาเหตุจากอุดตันของท่อลำเลียงจากการศึกษาของ Fujino และ Reid (1983) พบว่าเฟิร์นก้านดำที่ปักแจกันไว้ในน้ำกลั่น มีการอุดตันของท่อลำเลียงน้ำจากสิ่งที่มีลักษณะคล้ายเจลที่เกิดจากการสลายตัวของผนังเซลล์ ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และโปรตีน และการอุดตันของเชื้อจุลินทรีย์อาจเป็นสาเหตุให้เฟินเสื่อมสภาพและมีอายุการปักแจกันสั้นลงได้ (Stamps. 2007) ส่วนน้ำหนักใบเฟินนาคราชลดลงอย่างต่อเนื่องและยังพบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดไม่สัมพันธ์กับการดูดน้ำของใบเฟินนาคราช ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดยังขึ้นอยู่กับรักษาสสมดุลระหว่างการดูดน้ำและการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Halevy and Mayak. 1981) การลดลงของน้ำหนักใบเฟินอาจเป็นผลจากการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำจึงทำให้ใบเฟินสูญเสียน้ำหนักสดและแสดงอาการใบเหี่ยวและบิด ในระหว่างการเสื่อมสภาพของใบเฟินพบปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีมากกว่าการสร้างจึงทำสีเขียวหมดไป (Ferrante and Francini. 2006) การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฮอร์โมนในใบ ซึ่งได้แก่ ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และ ABA การขาดน้ำและแสง (จริงแท้, 2541) ฮอร์โมนพืชมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวในการชะลอการเสื่อมสภาพและการรักษาระดับของปริมาณของคลอโรฟิลล์ การให้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลินกับไม้ตัดใบทำให้ใบเหลืองช้าลงอย่างชัดเจน (Ravindran *et al.* 2010; Bulgari *et al.* 2014) นอกจากคลอโรฟิลล์ที่มีปริมาณลดลงแล้ว ยังพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมอยู่ในใบเฟินลดลงเมื่อเฟินเสื่อมสภาพมากขึ้นด้วยเช่นกัน แคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากการปฏิกิริยาออกซิเดชันจากแสง (Ravindran *et al.* 2010) เนื่องจากแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (Young and Lowe. 2001) การลดลงของแคโรทีนอยด์ในใบเฟินอาจทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงและทำให้เกิดความเสียหายของเซลล์จากอนุมูลอิสระ การสูญเสียแคโรทีนอยด์ของพืชภายหลังเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นในระหว่างการเสื่อมสภาพ แต่ในช่วงแรกของการเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราช พบปริมาณของแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น อาจเกิดได้จากการปรับตัวทางสรีรวิทยาของพืชเนื่องจากสภาวะเครียด (Demmig-Adams *et al.* 1996)

เมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพยังพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Hung และ Kao (2004) พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่งเสริมการเสื่อมสภาพของพืช ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อเซลล์ และบ่งบอกว่าพืชอยู่ในสภาวะเครียด

จากออกซิเดชัน (Dat *et al.* 2000) การสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในใบเฟิน อาจเนื่องจากการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ catalase หรือเอนไซม์ peroxidase เป็นเอนไซม์ที่สลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้เป็นน้ำและออกซิเจน (Zimmermann *et al.* 2006) เมื่อศึกษาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์พบว่าใบเฟินที่ยังไม่เสื่อมสภาพ (ระยะที่ 1) มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่าใบที่เกิดการเสื่อมสภาพ อนุมูลอิสระออกซิเจนสามารถทำความเสียหายในโมเลกุลขนาดใหญ่ภายในเซลล์ เช่น ไขมัน โปรตีน และสารพันธุกรรม ส่งผลให้เกิด lipid peroxidation ความเสียหายของเซลล์และการตายของเซลล์ เนื่องจากกลไกการต้านอนุมูลอิสระในใบพืชลดลง (Kukavica and Veljovic-Jovanovic. 2004) การเกิด lipid peroxidation มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตอนุมูลอิสระออกซิเจนเพิ่มขึ้น เช่น อนุมูล superoxide อนุมูล hydroxyl รวมถึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Breusegem and Dat. 2006) โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการเกิด lipid peroxidation ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Bowler *et al.* 1992) การเสื่อมสภาพของใบเฟินนาคราชอาจมีความเกี่ยวข้องกับการเกิด lipid peroxidation ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ ทำให้ใบไม่เกิดการเสื่อมสภาพโดยความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ลดลง (Kumar *et al.* 2009a; Kumar *et al.* 2009b; Khare *et al.* 2015) อย่างไรก็ตามใบเฟินที่แสดงอาการเสื่อมสภาพในระยะที่ 2-5 มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์คงที่ อาจเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation โดยจับกับอนุมูล lipid peroxy จึงมีผลยับยั้งหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ในการเพิ่มปริมาณอนุมูลอิสระ (Palozza and Krinsky. 1993) ทำให้รักษาระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ให้คงที่ เนื่องจากอนุมูล lipid peroxy มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปลูกโซ่ในการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันจากอนุมูลอิสระ (Halliwell. 1991; Niki. 2009) ดังนั้น แคโรทีนอยด์จึงมีบทบาทสำคัญในการปกป้องเยื่อหุ้มเซลล์

การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยเป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงต้องใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อก่อให้เกิดระบบอิมัลชัน ซึ่งระบบอิมัลชันมีด้วยกัน 3 แบบ คือ อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o emulsion) อิมัลชันชนิดที่น้ำมันในน้ำ (o/w emulsion) และอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) สารลดแรงตึงผิวโมเลกุลเล็กส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นโมเลกุลสังเคราะห์ เช่น Tweens, Spans, CITREM และ DATEM (McClements and Jafari. 2018) สารลดแรงตึงผิวสามารถสร้างเมมเบรนรอบหยดของเฟสน้ำมันที่กระจายตัวได้และทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่เคลือบรอบอนุภาคน้ำมันขึ้น เพื่อให้อิมัลชันมีความเสถียรมากขึ้น นอกจากนี้ ยังให้แรงผลักดันระหว่างหยดน้ำซึ่งสามารถขัดขวางการรวมตัวของอนุภาคที่ก่อให้เกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอนได้ (Barradas *et al.* 2015) การสร้างอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อให้ได้ระบบอิมัลชันที่มีความเสถียรเป็นระยะเวลานาน สารลดแรงตึงผิวมีค่า HLB แตกต่างกันไปพบว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ (2-6) สามารถทำให้อิมัลชันของน้ำในน้ำมันมีความเสถียร ในขณะที่สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง (8-18) ทำให้อิมัลชันของน้ำมันในน้ำมีความเสถียร (McClements and Jafari. 2018) ค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่นำมาใช้ คือ Tween20 = 16.7, Tween40 = 15.6,

Tween60 = 14.9 และ Tween80 = 15 แต่เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวเพียงชนิดเดียวทำให้เกิดระบบอิมัลชันที่ไม่เสถียร จึงต้องเพิ่มสารลดแรงตึงผิวอีกชนิดเพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับระบบอิมัลชัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Winsor (1948) ที่พบว่า ไมโครอิมัลชันมีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ต้องประกอบด้วยน้ำ น้ำมันและแอมฟิฟิล (สารลดแรงตึงผิว มักจะใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม) เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในปริมาณที่เพียงพอจะสามารถทำให้น้ำมันและน้ำละลายรวมกันอย่างสมบูรณ์ จึงเพิ่มสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ได้แก่ Span20 (HLB = 8.6), Span80 (HLB = 4.3), Span83 (HLB = 3.7) และ Span85 (HLB = 103) ในการทำสารลดแรงตึงผิวแบบผสม คือ จะต้องมีส่วนลดแรงตึงผิวหลักที่มีค่า HLB สูงกว่าค่า HLB ที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่า สารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (co-surfactant) ได้แก่ Span20, Span80, Span83 และ Span85 ผสมกันได้เป็น S_{mix} หลังจากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยจากขิงในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า สารลดแรงตึงผิวรอง Span20 เพียงชนิดเดียวผสมกับสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ที่ทำให้เกิดระบบอิมัลชันที่มีความเสถียร หลังจากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน โดยวัดจากค่าศักย์ไฟฟ้าในชั้นอิมัลชัน (Zeta Potential (ζ)) พบว่ามีค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่างลบ 29.92-36.43 mV ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้า ที่มากกว่าลบ 30 mV ขึ้นไปแสดงถึงความเสถียรของระบบอิมัลชัน (Rodrigues *et al.* 2015) การศึกษาของ Nesterenko (2014) พบว่า Tween80 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียร เมื่อทำการวัดขนาดอนุภาคของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงพบว่า อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 261.1-418.6 nm ซึ่งขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ที่จัดเป็นไมโครอิมัลชัน จึงทำการลดขนาดอนุภาค โดยการลดขนาดอนุภาคทำได้หลายวิธี เช่น การคนหรือเขย่า (mechanical Agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (ultrasonic vibration) หรือไฟฟ้า (lectricity) และการใช้แรงดัน (High-pressure homogenization) ได้ทำการลดขนาดอนุภาคด้วยการสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง ด้วยเครื่อง Sonicator bath พบว่าขนาดของอนุภาคลดลงอยู่ที่ 177.0-260.6 nm มีค่าค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่างลบ 30.1-39.34 mV พบว่าขนาดของอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงยังมีขนาดเกิน 100 nm จึงทำการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดอนุภาคโดยใช้แรงดัน พบว่า ขนาดของน้ำมันลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Das and Das (2022) และพบว่า กระบวนการไฮโมจิเนชันแรงดันสูง จะใช้แรงดันให้เกิดแรงเฉือนสารลดแรงตึงผิวส่วนผสมของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและเฟสลิพิดจะถูกทำให้เย็นลงแล้วกระจายตัวเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบเย็นสร้างเฟสแขวนลอยเกิดกระจายตัวทำให้ได้อิมัลชันระดับนาโน และการใช้การใช้แรงดันสูงจากเครื่อง High-pressure homogenization หลังจากเตรียมอิมัลชันแล้วจะทำให้ขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันมีขนาดเล็กลง (Salvia-Trujillo *et al.* 2015) แต่อย่างไรก็ตามขนาดของอนุภาคนาโนอิมัลชันหลังทำการลดขนาดด้วยเครื่อง High-pressure homogenization ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวด้วยที่ผสมในอิมัลชันด้วย (Wooster *et al.* 2008) เมื่อขนาดอนุภาคของน้ำมันและการกระจายตัวที่ต่ำลงและความเสถียรของนาโนอิมัลชันจะสูงขึ้น (Izquierdo *et al.* 2005)

การทดสอบฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขิงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง (วทันยาและคณะ 2557) เมื่อศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยขิง ด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระที่เสถียร 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

โดยใช้วิธี DPPH radical scavenging assay และวิธีอนุมูล 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) โดยใช้วิธี ABTS radical scavenging assay พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากขิงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งอนุมูล 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl และ 2,2'-azinobis มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 8798.49 และ 8423.21 µg/mL ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปแบบไมโครและนาโนอิมัลชันมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งอนุมูล 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl และ 2,2'-azinobis สูงขึ้นในทุกกรรมวิธีการเตรียม มีค่า IC₅₀ ไม่แตกต่างจากสารมาตรฐานวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Lou *et al.* (2017) พบว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจาก *Citrus medica* L. มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Sundararajan *et al.* (2018) พบว่า สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติทำให้นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากโหระพามีความเสถียรและมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออน ด้วยวิธี Metal chelating activity ของน้ำมันหอมระเหยขิง พบว่าน้ำมันหอมระเหยขิงบริสุทธิ์มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้น้อย ในขณะที่นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ผ่านการลดขนาดจากเครื่อง High-pressure homogenization มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากขิงบริสุทธิ์ แต่พบว่าอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ผสมสารลดแรงตึงผิว neopelex มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนได้ดีใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน EDTA เนื่องจากสารลดแรงตึงผิว neopelex เป็นสารที่มีประจุลบจึงสามารถแย่งจับโลหะ Fe²⁺ ได้ ในขณะที่สารลดแรงตึงผิว Tween20, Tween40, Tween60 Tween80 และ Span20 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kulawik *et al.* (2023) พบว่า ไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากออริกาโน, ตะไคร้, โทม์และโรสแมรี่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี แต่แทบไม่มีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันหอมระเหย ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นสารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ (Kumar *et al.* 2009a) เมื่อเซลล์เสื่อมสภาพมีผลทำให้การผลิตอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (Navabpour *et al.* 2003) และสารคีเลตเป็นสารที่สามารถช่วยให้เกิดการชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของใบไม้ได้ จากผลการศึกษาพบว่าไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงเหมาะสมที่นำมาเป็นสารปักแจกันเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการปักแจกันของใบเฟินนาคราช

การศึกษาผลไมโครและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่ออายุการใช้งานและการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราช จากการประเมินขนาดอนุภาค ความเสถียร การกระจายตัวของอนุภาคและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยจากขิง อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 เป็นสูตรที่ได้รับการคัดเลือกโดยประเมินจากความเสถียรของระบบอิมัลชันเมื่อทำการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดอนุภาคด้วยแรงดันสูง (High pressure homogenizer) โดยใช้แรงดัน 15,000 psi จำนวน 2 รอบ ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta potential) เท่ากับ -35.61 mV เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือนไม่เกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอน เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในสารส่งเสริมคุณภาพสำหรับปักแจกันใบเฟินนาคราช เมื่อศึกษาผลของไมโครและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่ออายุการใช้งาน

ของใบเฟินนาคราช พบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยสารส่งเสริมคุณภาพไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm ใบเฟินนาคราชมีอายุปักแจกันนานที่สุดและอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่น (ภาพที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.16) สอดคล้องกับผลการศึกษานิภาพร (2561) พบว่า อิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากยูคาลิปตัสและตะไคร้หอมสามารถยืดอายุปักแจกันของใบฟิโลเดนดรอนพลูจีบนานกว่าการปักแจกันในน้ำกลั่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bayat *et al.* (2011) น้ำมันหอมระเหยจากซัมเมอร์ เซเวอรี่ (*Satureja hortensis* L.) สามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักสดและยืดอายุการใช้งานของดอกคาร์เนชั่นได้ จากผลการศึกษาใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่นลักษณะใบแสดงอาการเหี่ยวหงิกงอ และมีอัตราการดูน้ำลดลงตั้งแต่วันที่ 5 ของการปักแจกัน สาเหตุมาจากการการตัดก้านใบที่ทำให้เกิดรอยแผล อาหารจากท่อลำเลียงอาหารไหลออกมาเป็นอาหารให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตเข้าไปอุดตันก้านใบได้ เป็นสาเหตุให้ใบเฟินเกิดการเสื่อมสภาพและมีอายุการปักแจกันสั้นลงได้ (Stamps, 2007) ซึ่งยังพบรายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรสามารถยืดอายุปักแจกันของดอกไม้ได้หลากหลายชนิด เช่น กุหลาบตัดดอก (มัญชนา. 2556), เบญจมาศ (El-Sayed and El-Ziat. 2021), โบโรเนีย (*Boronia heterophylla* F. Muell.) (Williamson and Joyce. 2013), บานชื่น (Kalinowski *et al.* 2022) และดอกคาร์เนชั่น (Dehestani-Ardakani *et al.* 2022) เนื่องจากสารฟีนอลในน้ำมันหอมระเหยสามารถเข้ายับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา ลดอัตราการรั่วไหลของสารอเล็กโทรไลต์ออกนอกเซลล์ ลดการคายน้ำและการสูญเสียน้ำหนักสดได้ทำให้อายุการปักแจกันนานขึ้น อาจเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยจากขิงมี 6-,8-,10-gingerols และ 6-gingerdiol เป็นสารสำคัญโดยเฉพาะสารในกลุ่มของ Gingerol มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ (Ficker *et al.* 2003; Mahady *et al.* 2003) ช่วยลดการอุดตันจากเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในท่อลำเลียงน้ำส่งผลให้ก้านใบดูดน้ำได้ดีขึ้น อีกทั้งยังพบว่ามีสารประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากขิงมี α -pinene, camphene และ 1, 8-cineol เป็นสารในกลุ่มเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) และสารประกอบฟีนอลิก ทำให้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (วทันยาและคณะ. 2557; Sasidharan and Menon. 2010; Michele. 2013; Sudum *et al.* 2013) จากการศึกษาของ Zhang *et al.* (2017) รายงานว่า นาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากกานพลูและอบเชยมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ละลายด้วยเอทานอล สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Roya *et al.* (2011) พบว่านาโนอิมัลชันจากน้ำมันหอมระเหยสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ 10 เท่า จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยในรูปไมโครและนาโนอิมัลชัน จึงเป็นนวัตกรรมทางเลือกใหม่ของการใช้สารจากธรรมชาติปักแจกันแทนสารเคมีได้

จากผลการศึกษาผลของไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราชพบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ แต่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมและผลการศึกษาพบว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นและน้ำมันหอมระเหยจากขิงมีปริมาณรงควัตถุลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาปักแจกัน เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ใบแสดงอาการเหี่ยวและเหลือง การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในใบขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ฮอริโมนในใบ ซึ่งได้แก่ ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน

เอทีลิน และ ABA นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสภาวะการขาดน้ำและแสง (จริงแท้. 2541) การเสื่อมสภาพของใบยังเป็นปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระในกลุ่ม Reactive oxygen species หรือ ROS (Prochazkova and Wilhelmovam. 2007) เป็นสารที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเยื่อหุ้มไขมันเกิดความเสียหายต่อโมเลกุลที่สำคัญ ทั้งกรดนิวคลีอิก รงควัตถุ กรดไขมันและโปรตีนส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ (Kumar *et al.* 2009a; Kumar *et al.* 2009b; Khare *et al.* 2015) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Gossauer and Engel, 1996) เป็นปรากฏการณ์ที่แสดงถึงการเสื่อมสภาพของใบ (Van Staden and Mooney. 1988) ซึ่งปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ส่งผลทำให้ใบไม้เกิดการเสื่อมสภาพ โดยความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ลดลง เกิดกระบวนการแคแทบอลิซึม (Kumar *et al.* 2019) ในวันที่ 12 ของการปักแจกัน พบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่นมากกว่าใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm และ 10 ppm ส่งผลให้ใบเฟินนาคราชปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงชะลอการเสื่อมสภาพและมีอายุปักแจกันนานขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของของนิภาพร (2561) พบว่า ใบพิโลเดนดรอนที่ปักแจกันด้วยอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากยูคาลิปตัสมีปริมาณปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลง สารฟีนอลิกในน้ำมันหอมระเหยจากขิงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (วทันยาและคณะ 2557) ช่วยเพิ่มศักยภาพหรือรักษาของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ นำไปสู่การลดการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ส่งผลให้เซลล์ชะลอการเสื่อมสภาพได้ (Vipin *et al.* 2003) จากการศึกษาของ Salihu *et al.* (2015) พบว่า 6-Gingerol เป็นสาระสำคัญของขิงที่สามารถช่วยลดปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ สามารถชะลอการเสื่อมสภาพและปกป้องเซลล์จากความเสียหายที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์จะทำให้เพิ่มปริมาณอนุมูลไฮดรอกซิลที่เป็นอนุมูลที่มีความรุนแรงต่อเซลล์มากที่สุด (Thompson *et al.* 1987; Bowler *et al.* 1992) Halliwell and Gutteridge (1986) รายงานว่า การสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณสูงสามารถทำลายโมเลกุลเซลล์ รวมทั้งไขมัน โปรตีนและกรดนิวคลีอิกได้ มีสารประกอบหลายชนิดที่สามารถกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทั้งเอนไซม์ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD), คาตาเลส (CAT), เปอร์ออกซิเดส (POD), แอสคอร์เบตเปอร์ออกซิเดส (APX) และกลูตาไธโอนรีดักเตส (GR) (Zhang *et al.*, 1995; Lee and Lee, 2000) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น โทโคฟีรอล กรดแอสคอร์บิก และกลูตาไธโอน (Wingsle and Hallgren, 1993; Kocsy *et al.* 1996; Noctor *et al.* 1998) มีรายงานว่า 6-Gingerol จากน้ำมันหอมระเหยจากขิงสามารถเพิ่มปริมาณเอนไซม์คาตาเลส, กลูตาไธโอนได้อย่างมีนัยสำคัญ (Salihu *et al.* 2015)

ดังนั้นใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยกรรมวิธีลดขนาดผ่านเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 ppm และ 10 ppm และนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง ความเข้มข้น 5 ppm พบใบเฟินนาคราชมีอายุการปักแจกันนานที่สุดและใบเฟินนาคราชมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งภายนอกและปริมาณสารชีวเคมีที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพน้อยที่สุด เกิดจากสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยขิงที่มีคุณสมบัติด้านการ

เจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจึงทำให้เซลล์ชะลอการเสื่อมสภาพและมีอายุการปักแจกันนานขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารชีวเคมีบางกลุ่มของใบเฟินนาคราช สรุปได้ดังนี้

ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันในน้ำกลั่นเมื่อใบแสดงอาการใบเหลือง 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ เริ่มพบปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นและปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อใบเฟินนาคราชแสดงอาการใบเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ พบการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น เมื่อใบเฟินนาคราชเสื่อมสภาพมากขึ้น เกิดอาการใบแห้งใบสูญเสียความเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ใบ เริ่มพบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นและเมื่อใบเฟินเริ่มเข้าสู่การเสื่อมสภาพทั้งใบ ก้านใบเฟินดูน้ำน้อยลง

2. การเตรียมน้ำมันหอมระเหยจากขิงในรูปอิมัลชันและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สรุปว่า

- 2.1 สูตรอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากขิง เตรียมจากการผสมสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20, Tween40, Tween60 และ Tween80 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวรอง Span20 เป็นสูตรที่ทำให้ระบบอิมัลชันที่มีความเสถียร
- 2.2 การลดขนาดอิมัลชันโดยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงผ่านเครื่อง Sonicator bath ทำให้อิมัลชันมีขนาดลดลง อยู่ระหว่าง 177.0-260.6 nm และมีความเสถียรมากกว่าการเตรียมอิมัลชันในกรรมวิธีอื่น
- 2.3 การลดขนาดของอิมัลชันด้วยเครื่อง High-pressure homogenization โดยใช้แรงดัน 15,000 psi จำนวน 2 รอบ ทำให้อิมัลชันมีขนาดเล็กลงเป็นอย่างมาก อยู่ในระดับนาโนเมตร มีขนาดอยู่ระหว่าง ขนาดของอนุภาคอิมัลชันอยู่ระหว่าง 48.8-76.4 nm
- 2.4 ไมโครและนาโนอิมัลชันในทุกกรรมวิธีสามารถมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH radical scavenging assay และ ABTS radical scavenging assay ได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์และนาโนอิมัลชันในทุกกรรมวิธีมีความสามารถในการแย่งจับโลหะไอออนเพิ่มมากขึ้น

3. ผลของไมโครและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากขิงต่ออายุการใช้งานของใบเฟินนาคราช สรุปได้ดังนี้

- 3.1 น้ำมันหอมระเหยจากขิงที่เตรียมด้วยสารลดแรงตึงผิวหลัก Tween20 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม Span20 เป็นสูตรที่ได้รับการคัดเลือกโดยประเมินจากความเสถียรของระบบอิมัลชันและนาโนอิมัลชันที่ทำการลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดอนุภาคด้วยแรงดันสูง (High Pressure Homogenizer) mV ไม่เกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอน เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน
- 3.2 ใบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันในทุกกรรมวิธีรักษาน้ำหนักสดค่อนข้างคงที่ไปจนหมดอายุปักแจกัน

- 3.3 ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงสดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Sonicate bath ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm มีอายุปักแจกันนานที่สุด คือ 13.20 และ 13.40 วัน ตามลำดับ
- 3.4 ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงทุกกรรมวิธีมีการละลายตัวของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์อย่างช้าๆ และมีอายุปักแจกันนานกว่าไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยน้ำกลั่น
- 3.5 ปริมาณของมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการปักแจกันนานขึ้น ไบเฟินนาคราชที่ปักแจกันด้วยไมโครและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากชิงทุกกรรมวิธีมีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดควบคุมตลอดอายุปักแจกัน



บรรณานุกรม

- กาญจนา วรราชภรณ์, กฤษณ์ สงวนพวง, ผ่องเพ็ญ จิตรอารีย์รัตน์, เฉลิมชัย วงษ์อารี และ มัณฑนา บัวหนอง. 2555. “ประสิทธิภาพการใช้น้ำมันหอมระเหยในการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ที่ได้จากสารละลายปักแจกันของกุหลาบตัดดอก”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 43 (3 พิเศษ): 523-527. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คมกิจ จาวิระ. 2551. “ชิง สมุนไพรไทยสารพัดประโยชน์”. **วารสารวิจัยและพัฒนา วว.** 23(2): 33-36.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ช.ณัฐศิริ สุขสุวรรณ. 2538. **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวไม้ตัดดอกไม้ตัดใบ**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- ฐิติมา สุคนธ์วิมลมาลย์. 2541. “ผลของสารเคมีที่มีต่อการสลายตัวของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเฟิร์นนาคราช”. **วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ตั้งกรู๊ป จำกัด.
- นิภาพร ยลสวัสดิ์. 2561. “วิธีการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวไปโฟเดเนตรอนพลูจิบโดยการใช้ น้ำมันหอมระเหยจากพืชร่วมกับสารต้านการคายน้ำ”. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. กรุงเทพฯ. 99 หน้า
- ม.ล.จาร์พันธ์ ทองแถม และ ปิยเกษตร สุขสถาน. 2550. “โครงสร้างและองค์ประกอบของเฟิน”. **FERNS คู่มือเฟินป่าและเฟินปลูกเลี้ยงในประเทศไทยสมบูรณ์ที่สุด**. กรุงเทพฯ: สารคดี.
- ม.ล.จาร์พันธ์ ทองแถม. 2536. **เฟิน สำหรับคนรักเฟินและผู้ปลูกเฟินมืออาชีพ**. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้น
- มณฑินี ธีรารักษ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2558. “ประสิทธิภาพของ Benzyladenine, Kinetin และ น้ำมันหอมระเหยจากชิง (สารทางเลือกใหม่) ในการชะลอการเสื่อมสภาพของใบเฟิร์นนาคราช”. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
- มัณฑนา บัวหนอง. 2556 “การใช้ น้ำมันหอมระเหยร่วมกับน้ำตาลทรีฮาโลสเป็นสารส่งเสริมคุณภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำปักแจกัน ปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการปักแจกันดอกไม้”. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี:กรุงเทพฯ**.
- ลิลลี่ กาวิตะ. 2546. **การเปลี่ยนแปลงสัณฐานและพัฒนาการของพืช**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วทันยา ลิ้มพะยอม, ณัฏฐา เลาทกุลจิตต์, ภรณ์ทิพย์ ดุษฎีลาวัฒน์ และ เกษรา วามะศิริ. 2557. “องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยชิง”. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.** 37(3): 297-312.

- เศรษฐมนันต์ กาญจนกุล. 2551. **ร้อยพรรณ พฤษชา เฟิน**. กรุงเทพฯ: เลิฟแอนด์ลิฟเพรส จำกัด.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. **สร้อยวิทยาของพืช**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์
- สุรเดช สดคมขำ. 2560. **สถานการณ์การผลิตการตลาดไม้ดอกไม้ประดับของไทย**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.technologychaoban.com/flower-and-decoratingplants>. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2562.
- สุรินทร์ ตั้งสิทธิ์เสวีวงศ์. 2534. “การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย BA และ Kinetin ที่ช่วยยืดอายุการปักแจกันของใบเฟิร์นใบมะขาม (*Nephrolepis cordifolia*)” **ปัญหาพิเศษปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน. **เครื่องลดขนาดอนุภาคในระดับไมครอน**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://161.246.35.121>. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2565
- อุไร จิรมงคลการ. 2548. **มือใหม่หัดปลูกเฟิน = Easy fern**. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดตสินทอง. 2550. “สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent”. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.
- Aliakbarlu, J., Khalili, S.S. and Shadie, M. 2013. “Comparative evaluation of antioxidant and anti-food-borne bacterial activities of essential oils from some spices commonly consumed in Iran”. **Journal of Food Science and Biotechnology** 22(6): 1487-1493.
- Barradas, T.N., de Campos, V.E.B., Senna, J.P., Coutinho, C. dos S.C., Tebaldi, B.S., Silva, K.G. de H.E. and Mansur, C.R.E. 2015. “Development and characterization of promising o/w nanoemulsions containing sweet fennel essential oil and non-ionic surfactants. *Colloids and Surfaces A*” **Physicochemical and Engineering Aspects** 480: 214-221.
- Bayat, H., Azizi, M., Shoor, M., and Madani, H. 2011. “Effect of ethanol and essential oils on extending vase-life of carnation cut flower (*Dianthus caryophyllus* cv. ‘Yellow Candy’)”. **Notulae Scientia Biologicae** 3(4)-100.
- Bazaz, A.M. and Tehranifar, A. 2011. “Effect of ethanol, methanol and essential oils as novel agents to improve vase-life of *Alstroemeria* flowers”. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences** 5(14): 41-46.
- Bowler, C., Van Montagu, M. and Inze, D. 1992. “Superoxide dismutase and stress tolerance”. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 43(1): 83-116.
- Breusegem, F.V. and Dat, J.F. 2006. “Reactive oxygen species in plant cell death”. **Plant Physiology**. 141(2): 384-390.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., and Ferrante, A. 2014. “Biostimulants and crop responses: a review”. **Biological Agriculture & Horticulture** 31(1): 1-17.

- Das, P and Das, M.K. 2022. "Production and physicochemical characterization of nanocosmeceuticals". **Nanocosmeceuticals Innovation Application and Safety** 2022: 95-138.
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranová, E., Montagu, M.V., Inzé, D. and Breusegem, F.V. 2000. "Dual action of the active oxy-gen species during plant stress responses". **Cellular and Molecular Life Sciences** 57(5): 779-795.
- Dehestani-Ardakani, M., Gholamnezhada, J., Alizadeha, S., Meftahizadeha, H., and Ghorbanpour, M. 2022. "Salicylic acid and herbal extracts prolong vase life and improve quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers" **South African Journal of Botany** 150:1192-1204.
- Demmig-Adams, B., Gilmore, A. and Adams, W. 1996. "Carotenoids 3: in vivo function of carotenoids in higher plants". **The FASEB Journal** 10(4): 403-412.
- El-Sayed, I. M., and El-Ziat, R. A. 2021. "Utilization of environmentally friendly essential oils on enhancing the postharvest characteristics of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cut flowers". **Heliyon** 7(1): e05909.
- Fan, L., Zheng, S. and Wang, X. 1997. "Antisense suppression of phospholipase D alpha retards abscisic acid- and ethylene-promoted senescence of postharvest Arabidopsis leaves". **Plant Cell** 9: 2183-2196.
- Ferrante, A. and Francini, A. 2006. "Ethylene and leaf senescence." in Khan, N.A. **Ethylene Action in Plants**. Berlin: Springer. 51-67.
- Ficker, C., Smith, M. L., Akpagana, K., Gbeassor, M., Zhang, J., Durst, T., Assabgui, R and Arnason, J. T. 2003. "Bioassay-guided isolation and identification of antifungal compounds from ginger". **Phytotherapy Research** 17(8): 897-902.
- Fujino, D.W. and Reid, M.S. 1983. "Factors affecting the vase life of fronds of maidenhair fern", **Scientia Horticulturae** 21(2): 291-297.
- Gossauer, A. and Engel N. 1996. "Chlorophyll catabolism-structures, mechanisms, conversions." **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology** 32(3): 141-151.
- Gupta, A., Eral, H.B., Hatton, T.A., and Doyle, P.S. 2016. "Nanoemulsions: formation, properties and applications". **Soft Matter** 12(11): 2826-2841.
- Gutiérrez, J. M., González, C., Maestro, A., Solè, I., Pey, C. M. and Nolla, J. 2008. "Nanoemulsions: New applications and optimization of their preparation". **Current Opinion in Colloid and Interface Science** 13(4): 245-251.
- Halevy, A.H. and Mayak, S. 1981 "Senescence and postharvest physiology on cut flower part 2". **Horticultural Reviews** 3: 39-143.

- Halliwell, B. 1991. "Reactive oxygen species in living systems: source, biochemistry, and role in human disease". **The American Journal of Medicine** 91: 14-22.
- Halliwell, B., and Gutteridge, J.M.C. 1986. "Oxygen free radicals and iron in relation to biology and medicine: Some problems and concepts". **Archives of Biochemistry and Biophysics** 246(2): 501-514.
- Hung, K.T. and Kao, C.H. 2004. "Hydrogen peroxide is necessary for abscisic acid-induced senescence of rice leaves." **Journal of Plant Physiology** 161(12): 1347-1357.
- Izquierdo, P., Feng, J., Esquena, J., Tadros, T.F., Dederen, J.C., Garcia, M.J., Azemar, N. and Solans, C. 2005. "The influence of surfactant mixing ratio on nano-emulsion formation by the pit method". **Journal of Colloid and Interface Science** 285(1): 388-394.
- Kalinowski, J. Moody, E.P., and Dole, J.M. 2022. "Improving hydration and vase life of cut *Zinnia*". **Scientia Horticulturae** 293: 110661.
- Khare, T., Kumar, V. and Kishor, P.B.K. 2015. "Na⁺ and Cl⁻ ion show additive effects under NaCl stress on induction of oxidative stress and the responsive antioxidative defense in rice". **Protoplasma** 252(4): 1149-1165.
- Kocsy, G., Brunner, M., Ruegsegger, A., Stamp, P. and Brunold, C. 1996. "Glutathione synthesis in maize genotypes with different sensitivities to chilling". **Planta** 198:365-370.
- Kukavica, B. and Veljovic-Jovanovic, S. 2004. "Senescence-related changes in the antioxidant status of ginkgo and birch leaves during autumn yellowing". **Physiologia Plantarum** 122: 321-327.
- Kulawik, P., Jamroz, E., Kruk, T., Szymkowiak, A., Tkaczewska, J., Krzyściaka, P., Sko'ra, M., Guzik, P., Janik, M., Vl'cko, T. and Milosavljevic', V. 2023. "Active edible multi-layer chitosan/furcellaran micro/nanoemulsions with plant essential oils and antimicrobial peptides: Biological properties and consumer acceptance". **Food Control** 150(2023): 109767
- Kumar, N., Pal, M. and Srivastava, G.C. 2009a. "Proline metabolism in senescing rose petals (*Rosa hybrida* L. "first red")". **Journal of Horticultural Science and Biotechnol** 84(5): 536-540.
- Kumar, V., Shriram, V., Nikam, T.D., Jawali, N. and Shitole, M.G. 2009b. "Antioxidant enzyme activities and protein profiling under salt stress in indica rice genotypes differing in salt tolerance". **Archives of Agronomy and Soil Science** 55(4): 379-394.

- Kumar, V., Khare, T., Srivastav, A., Surekha, C., Shriram, V. and Wani, S.H. 2019. "Oxidative stress and leaf senescence: Important insights". **Senescence Signalling and Control in Plants**. 139-163.
- Lee, D.H. and Lee C.B. 2000. "Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber: in gel enzymes activity assays". **Plant Science** 159:75-85.
- Lou, Z., Chen, J., Yu, F., Wang, H., Kou, X., Ma, C., and Zhu, S. 2017. "The antioxidant, antibacterial, antibiofilm activity of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* and its nanoemulsion". **LWT** 80: 371-377.
- Mahady, G.B., Pendland, S.L., Yun, G.S., Lu, Z.Z. and Stoia A. "Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and the Gingerols Inhibit the Growth of Cag A+ Strains of *Helicobacter pylori*". **Anticancer Research** 2003;23(0): 3699-3702.
- Marandi R.J., Hassani, Abdollahi A. and Hanafi, S. 2011. "Improvement of the vase life of cut gladiolus flowers by essential oils, salicylic acid and silver thiosulfate". **Journal of Medicinal Plants Research** 5(20): 5039-5043.
- McClements, D.J. and Jafari, S.M. 2018. "Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review". **Advances in Colloid and Interface Science** 251: 55-79.
- McClements, D.J. and Rao, J. 2011. "Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity". **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 51: 285-330.
- Michele, C., Marcos, L., Papa, M., Osmar, R., Lúcio, C. and Agnes, P. 2013. "Supercritical CO₂ extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity". **The Journal of Supercritical Fluids** 80: 44-49.
- Navabpour, S., Morris, K., Allen, R., Harrison, E., A-H-Mackerness, S. and Buchanan-Wollaston, V. 2003. "Expression of senescence-enhanced genes in response to oxidative stress". **Journal of Experimental Botany** 54(391): 2285-2292.
- Nesterenko, A., Drelich, A., Lu, H., Clause, D., and Pezron, I. 2014. "Influence of a mixed particle/surfactant emulsifier system on water-in-oil emulsion stability". **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects** 457: 49-57.
- Niki, E. 2009. "Lipid peroxidation: Physiological levels and dual biological effects". **Free Radical Biology and Medicine** 47(5): 469-84.
- Noctor, G., Arisi, A.M., Jouanin, L., Kunert, K.J., Rennenberg, H. and Foyer, C.H. 1998. "Glutathione: biosynthesis, metabolism and relationship to stress tolerance explored in transformed plants". **Journal of Experimental Botany** 49:623-647.

- Palozza, P. and Krinsky, N. I. 1993. "Antioxidant effects of carotenoids on biological membranes". **International Journal of Engineering & Technology** 31: 131-140.
- Prochazkova, D., and Wilhelmova, N. 2007. "Leaf senescence and activities of the antioxidant enzymes." **Biologia Plantarum**. 51(3): 401-406.
- Prochazkova, D., Sairam, R.K., Srivastava, G.C., and Singh, D.V. 2001. "Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves". **Plant Science** 161(4): 765-771.
- Ravindran, K.C., Indrajith, A., Pratheesh, P.V., Sanjiviraja, K. and Balakrishnan, V. 2010. "Effect of ultraviolet-B radiation on biochemical and antioxidant defence system in *Indigofera tinctoria* L. seedlings". **International Journal of Engineering & Technology** 2(5): 226-232.
- Rodrigues, F., Alves, A. C., Nunes, C., Sarmiento, B., Amaral, M.H., Reis, S., and Oliveira, M.B.P.P. 2016. "Permeation of topically applied caffeine from a food by—product in cosmetic formulations: Is nanoscale in vitro approach an option" **International Journal of Pharmaceutics** 513(1-2): 496-503.
- Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W.R., Utami, R. and Mulatsih, W. 2010. "Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam). **International Food Research Journal** 17(2010): 97-106.
- Salihu, M., Ajayi, B. O., Adedara, I. A., and Farombi, E. O. 2015. "6-Gingerol-Rich Fraction from *Zingiber officinale* prevents hematotoxicity and oxidative damage in kidney and liver of rats exposed to carbendazim". **Journal of Dietary Supplements** 13(4): 433-448.
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, A., Soliva-Fortuny, R., and Martín-Belloso, O. 2015. "Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils". **Food Hydrocolloids** 43: 547-556.
- Sasidharan, I., and Menon, A.N. 2010. "Comparative Chemical and Antimicrobial Activity Fresh & Dry Ginger Oils (*Zingiber officinale* Roscoe)". **International Journal of Current Pharmaceutical Research** 2:40-43.
- Shanan, N.T. 2012. Applications of essential oils to prolong the vase life of rose (*Rosa* hybrid L. cv. "Grand") cut flowers. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants** 4(1): 66-74.

- Solans, C., Izquierdo, P., Nolla, J., Azemar, N., and Garcia-Celma, M.J. 2005. "Nanoemulsions". **Current Opinion in Colloid & Interface Science** 10(3-4): 102-110.
- Solans, C., Morales, D., and Homs, M. 2016. "Spontaneous emulsification". **Current Opinion in Colloid & Interface Science** 22: 88-93.
- Solgi, M., Kafi, M., Taghavi, T. S., and Naderi, R. 2009. "Essential oils and silver nanoparticles (SNP) as novel agents to extend vase-life of gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. "Dune") flowers". **Postharvest Biology and Technology** 53(3): 155-158.
- Stamps R.H. 2001. "Effects of postharvest dip treatments on leather leaf fern (*Rumohra adiantiformis*) frond vase life". **Acta Horticulturae**. 543: 299-303.
- Stamps R.H. 2007. "Vase life characteristics of fern". **Acta Horticulturae** 755: 155-162.
- Sudam, N., Moshfekus, S.I., Matiur, R., Nurul, H.B., Nasim, S., Aminul, A., Shamim, A., Shajahan, S., Zamilur, R. and Sudhangshu, K.R. 2013. "Quality composition and biological significance of the bangladeshi and china ginger (*Zingiber officinale* Rosc.)". **The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences** 2(5): 2283-2290.
- Sundararajan, B., Moola, A.K., Vivek, K., and Kumari, B.D.R. 2018. "Formulation of nanoemulsion from leaves essential oil of *Ocimum basilicum* L. and its antibacterial, antioxidant and larvicidal activities (*Culex quinquefasciatus*)". **Microbial Pathogenesis** 125(2018): 475-485.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., and Solans, C. 2004. "Formation and stability of nanoemulsions". **Advances in Colloid and Interface Science**. 108-109: 303-318.
- Thompson, J.E., Legge, R.L. and Barber, R.F. 1987. "The role of free radicals in senescence and wounding." **The New Phytologist** 105: 317-344.
- Thompson, J., Taylor, C. and Wang, T.W. 2000. "Altered membrane lipase expression delays leaf senescence". **Biochemical Society Transactions** 28(6): 775-777.
- Van Staden, J. and Mooney, P.A. 1988. "The effect of cytokinin preconditioning on the metabolism of adenine derivatives in soybean callus". **Journal of Plant Physiology** 133(4): 466-469.
- Vipin K. S. Sitharam T. G. and Kolathayar S. 2013. "Assessment of seismic hazard and liquefaction of gujarat based on probabilistic approaches" **Natural Hazards** 65: 1179-1195.

- Wingsle, G and Hallgren, J.E. 1993. "Influence of SO₂ and NO₂ exposure on glutathione, superoxide dismutase and glutathione reductase activities in Scots pine needles". **Journal of Experimental Botany** 44: 463-470.
- Williamson, V.G., and Joyce, D.C. 2013. "Boronia heterophylla vase life is influenced more by ethylene than by bacterial numbers or vase solution pH". **Postharvest Biology and Technology** 84: 28-35.
- Winsor, P.A. 1948. "Hydrotrophy, solubilisation and related emulsification processes". **Journal Chemical Society, Faraday Transactions** 44: 376.398.
- Wooster, T. J., Golding, M., and Sanguansri, P. 2008. "Impact of oil type on nanoemulsion formation and ostwald ripening stability". **Langmuir** 24(22): 12758-12765.
- Young, A.J. and Lowe, G.M. 2001. "Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids". **Archives of Biochemistry and Biophysics** 385: 20-27.
- Zhang, J.S., Li, C.J., Wei, J., and Kirkham, M.B. 1995. "Protoplasmic factors, antioxidants responses, and chilling resistance in maize". **Plant Physiology and Biochemistry** 382: 1123-1131.
- Zhang, S., Zhang, M., Fang, Z., and Liu, Y. 2017. "Preparation and characterization of blended cloves/cinnamon essential oil nanoemulsions". **LWT** 75: 316-322.
- Zimmermann, P. and Zentgraf, U. 2005. "The correlation between oxidative stress and leaf senescence during plant development." **Journal of Cellular & Molecular Biology Letters** 10: 515-543.
- Zimmermann, P., Heinlein C., Orendi G. and Zentgraf, U. 2006. "Senescence-specific regulation of catalases in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh". **Plant Cell and Environment** 29(6): 1049-1060.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวเพ็ญภัสสร ไคว์วิลัยแสง
 วัน เดือน ปีเกิด 16 กันยายน 2536
 ที่อยู่ปัจจุบัน 26 หมู่ที่ 5 ตำบลพลับพลาไชย อำเภออุทุมพร จังหวัดสุพรรณบุรี 72160

ประวัติการศึกษา 2559 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา เกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ Kowwilaisaeng, P and Teerarak, M. (2022). “Biochemical Changes during Frond Senescence of Rabbit’s Foot Fern (*Davallia* sp.) Postharvest”. *Thai Science and Technology Journal*. 30 (1): 85-96

