

การยืดอายุการเก็บของกะทิด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและกระบวนการพลาสมาที่ไม่
ใช้ความร้อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SHELF LIFE EXTENSION OF COCONUT MILK USING VANILLA ESSENTIAL OIL
NANOEMULSION AND NONTHERMAL PLASMA PROCESS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การยืดอายุการเก็บของกะทิด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและกระบวนการพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน
โดย	น.ส.ชนิกันต์ ชูสิทธิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรรัตน์ อนันตกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ประภา อิมจงใจรัก)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิกันต์ ชูสิทธิ์ : การยืดอายุการเก็บของกะทิด้วยนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและกระบวนการพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน. (SHELF LIFE EXTENSION OF COCONUT MILK USING VANILLA ESSENTIAL OIL NANOEMULSION AND NONTHERMAL PLASMA PROCESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.อุบลรัตน์ สิริภักทวารวณ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (NE) และพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน (PT) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของกะทิ เริ่มจากเตรียม NE โดยแปรรูปส่วนของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (EO) และสารให้ความคงตัว (Tween 80) เป็น 3 ระดับ คือ 1:1 (NE1:1), 4:1 (NE4:1) และ 5:1 (NE5:1) โดยวัดขนาดของอนุภาค (particle size), การกระจายตัวของอนุภาค (polydispersity index; PDI), สมบัติการต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ด้วยการหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimal inhibitory concentration: MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ (Minimal bactericidal concentration: MBC) โดยทดสอบกับจุลินทรีย์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ จุลินทรีย์แกรมบวก (*S.aureus* และ *B. licheniformis*) และจุลินทรีย์แกรมลบ (*E.coli* และ *S. typhimurium*) พบว่า NE1:1 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าและการกระจายตัวของอนุภาคดีกว่า NE4:1 และ NE5:1 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 30 วัน และพบว่า NE1:1 มีค่าการต้านออกซิเดชัน FRAP สูงกว่าสูตรอื่น แต่ค่า DPPH ต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากกาเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของอนุมูล DPPH และสารฟีนอลิกบางชนิดที่อยู่ในวานิลลา และมีค่า MIC และ MBC ต่ำกว่า NE4:1 และ NE5:1 ดังนั้น NE1:1 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับ NE การทดลองขั้นที่สองเป็นการหาปริมาณที่เหมาะสมของ NE ในกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C โดยแปรปริมาณ NE เป็น 5%(v/v) (CP+NE5%), 10%(v/v) (CP+NE10%) และ 20%(v/v) (CP+NE20%) ติดตามผลโดยการวัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติเชิงวิทยาการและ (rheology properties), การแยกชั้นน้ำมัน (oiling index), การแยกชั้นครีม (creaming index) และค่าสี สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และวิธี DPPH, ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) และ 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) สมบัติทางจุลินทรีย์ และวิเคราะห์สารระเหยโดยใช้ Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) พบว่า NE ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนพฤติกรรมไหล (flow behavior index; n) ของ CP และพบว่า CP+NE20% สามารถลดการแยกชั้นครีมในกะทิ โดยปริมาณ NE ที่ใช้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการต้านออกซิเดชันทั้งสองวิธี และทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์และค่า TBARS ลดลง สำหรับสมบัติทางจุลินทรีย์ พบว่า CP+NE10% และ CP+NE20% มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น จึงเลือก CP+NE10% เพื่อยืดอายุการเก็บใน CP นอกจากนี้ EO มีสารระเหยให้กลิ่นอย่าง coumarin ที่คล้ายกับสารระเหยให้กลิ่นในกะทิ จึงมีกลิ่นที่อาจสามารถเข้ากับกะทิได้ การทดลองขั้นที่สาม เป็นการศึกษาผลของ PT ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ (CM) ที่เติม NE (CM+NE10%, CP+NE10%) ติดตามผลเช่นเดียวกับในการทดลองตอนที่สอง โดยใช้ PT ของก๊าซอาร์กอนที่ 10 kV, ความถี่ 12.5 Hz เป็นเวลา 5 นาที พบว่า PT ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไหลของ CM+NE10% และ CP+NE10% แต่มีผลทำให้การแยกชั้นน้ำมันและค่า TBARS ของ CM+NE10% เพิ่มขึ้น และทำให้ค่าการต้านออกซิเดชันและค่า PV ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ลดลง สำหรับการวิเคราะห์สารระเหย พบว่า PT ทำให้กรดไขมันลดลงและเพิ่มสารระเหยให้กลิ่นในกะทิ นอกจากนี้ PT แสดงผลการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ดังนั้น การใช้ PT ร่วมกับ NE สามารถยืดอายุการเก็บของกะทิได้ โดยปราศจากการใช้สารกันเสีย และมีส่วนช่วยรักษาสารให้กลิ่นที่สำคัญของกะทิไว้ได้

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370114423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD: Nanoemulsion/ Vanilla essential oil/ Nonthermal plasma process/ coconut milk

Chanikarn Choosit : SHELF LIFE EXTENSION OF COCONUT MILK USING VANILLA ESSENTIAL OIL NANOEMULSION AND NONTHERMAL PLASMA PROCESS. Advisor: Prof. UBONRATANA SIRIPATRAWAN, Ph.D.

This research aimed to study the effect of vanilla essential oil nanoemulsion (NE) and nonthermal plasma process (PT) on quality and shelf life of pasteurized coconut milk. The first experiment was to optimize the formula of NE. NE was prepared using ultrasonication method by varying the ratio between vanilla essential oil (EO) and Tween80 to be 1:1 (NE1:1), 4:1(NE4:1) and 5:1(NE5:1). The optimal formula was selected by measuring particle size, polydispersity index (PDI), antioxidant activities measured by using Ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and antimicrobial activities using Minimal inhibitory concentration (MIC) and Minimal bactericidal concentration (MBC) against four stain bacterium including gram positive (*Staphylococcus aureus* and *Bacillus licheniformis*) and gram negative (*Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*). The result showed that NE1:1 had the significantly ($p \leq 0.05$) smallest particle size and PDI during storage 30 °C for 30 days and had highest antioxidant activity for FRAP assay, but had lowest antioxidant activity for DPPH assay. Moreover, NE1:1 had the lowest concentration for MIC and MBC against all tested bacteria. Therefore, NE1:1 was the optimal formula for NE. The second experiment was to determine the optimal concentration of NE in pasteurized coconut milk (CP) by varying the concentration of NE to be 5%(CP+NE5%), 10%(CP+NE10%) and 20% (v/v) (CP+NE20%). Physical properties, including rheology properties, oiling index, creaming index and color, chemical properties, including FRAP assay, DPPH assay, Peroxide value (PV) and 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) and antimicrobial properties of the sample were investigated. The volatile compound were also analyzed using Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The result found that the NE did not affect flow behavior index (n) of CP. CP+NE20% had significant ($p \leq 0.05$) lower %creaming index. NE had higher antioxidant activities for both FRAP assay and DPPH assay, and lower peroxide value and TBARS. The antimicrobial properties of CP+NE10% and CP+NE20% were similar and significantly ($p \leq 0.05$) better than CP+NE5% and CP during storage at 4 °C. Thereby, NE10% was the optimal concentration. Moreover, EO had coumarin that found in coconut milk, resulting in a good compatibility to coconut milk odor. The third experiment was to study the effect of PT on quality and shelf life of NE in CP. The sample including coconut milk (CM) and CP without and with adding of NE (CM+NE10%, CP+NE10%) were treated with PT under condition of 10 kV, frequency 12.5 Hz for 5 min using argon gas. The result found that PT did not affect flow behavior index of CM+NE10% and CP+NE10% but affected increasing of % oiling index and TBARS of CM+NE10%. Whereas, antioxidation properties and peroxide value of CM+NE10% and CP+NE10% had decrease. PT affected reduction fatty acid and increase volatile compound in CM and CP. In addition, PT could inhibit bacteria for CM+NE10% and CP+NE10%. Therefore, using NE and PT could prolong shelf life of coconut milk without preservative and could maintain the characteristic of odor in coconut milk.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Food Technology

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข และปรับปรุงรายละเอียดต่างๆ ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย รวมถึงกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ อนันตกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล และรองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ประภา อิมจงใจรัก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลามาตรวจสอบ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช สำหรับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ และเพื่อนๆ ปริญญาโท และปริญญาเอก ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการให้คำแนะนำ คำปรึกษา และน้ำใจที่มีให้ตลอดการวิจัย รวมถึงการแลกเปลี่ยนความรู้ และประสบการณ์ที่ดีต่อกัน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้ความช่วยเหลือผู้วิจัย จนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ชนิกันต์ ชูสิทธิ์

สารบัญ

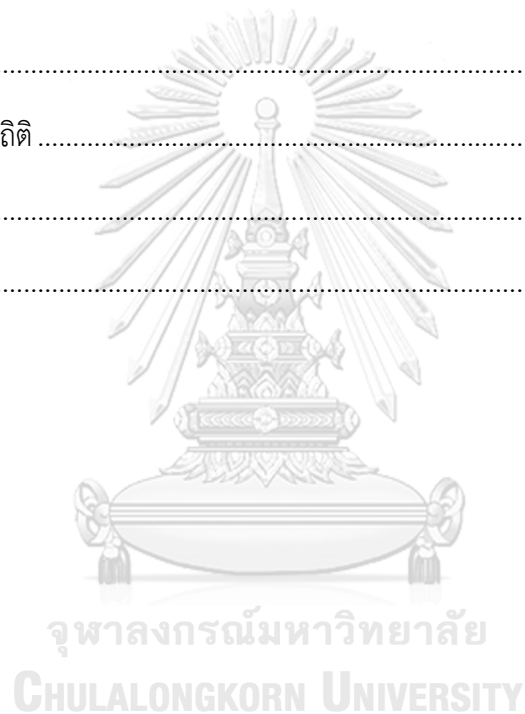
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
บทที่ 2	3
วารสารปริทัศน์	3
2.1 กะทิ.....	3
2.2 นาโนอิมัลชัน.....	4
2.2.1 การเตรียมนาโนอิมัลชัน.....	5
2.2.1.1 High energy methods.....	5
2.2.2 กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชัน.....	7
2.2.3 ความไม่เสถียรของนาโนอิมัลชัน	8
2.2.4 การประเมินลักษณะของนาโนอิมัลชัน	9
2.3 สารลดแรงตึงผิว.....	10
2.3.1 ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์.....	10
2.3.2 กลไกการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์.....	12
2.4 วานิลลา.....	12

2.4.1 วานิลลิน (Vanillin)	13
2.5 พลาสมาอุณหภูมิต่ำ (nonthermal plasma process)	15
2.6 อุปกรณ์ในการทำพลาสมา	16
2.7 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำในอุตสาหกรรมอาหาร	17
บทที่ 3	20
การดำเนินงานวิจัย	20
3.1 สารเคมี	20
3.2 เครื่องมือ	20
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	21
3.3.1.1 ศึกษาขนาดอนุภาคและความเสถียรของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	21
3.3.1.2 ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	21
3.3.1.3 ศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	22
3.3.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในการรักษาคุณภาพกะทิ	23
3.3.2.1 สมบัติทางกายภาพ	23
3.3.2.1.1 สมบัติเชิงวิทยาการเสถียร (rheological properties)	23
3.3.2.1.2 ค่าความคงตัว (stability)	23
3.3.2.1.3 ค่าสี	24
3.3.2.2 สมบัติทางเคมี	24
3.3.2.2.1 สมบัติการต้านออกซิเดชัน	24
3.3.2.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)	24
3.3.2.2.3 วัด Thiobarbituric acid (TBA)	25

3.3.2.3	ศึกษาองค์ประกอบสารระเหยของกะทิที่เติมนานโนอิมัลชัน.....	25
3.3.2.4	การวัดปริมาณจุลินทรีย์.....	26
3.3.2.4.1	วัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) Food and Administration (2012).....	26
3.3.2.4.2	วัดปริมาณ <i>coliform</i> และ <i>E.coli</i>	26
3.3.2.4.3	วัดปริมาณยีสต์และรา.....	26
3.3.3	ศึกษาผลของการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนต่อคุณภาพของกะทิที่ผ่านและไม่ผ่านพาสเจอร์ไรส์เซชันที่เติมนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	26
3.3.4	การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ	27
บทที่ 4	28
ผลการทดลองและวิจารณ์	28
4.1	ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	28
4.1.1	สมบัติทางกายภาพของนานโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	28
4.1.2	สมบัติการต้านออกซิเดชันของนานโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา.....	30
4.1.3	สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของนานโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา	32
4.1.3.1	ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimal inhibitory concentration: MIC).....	32
4.1.3.2	ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC).....	33
4.2	ผลของนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อคุณภาพและอายุการเก็บของกะทิพาสเจอร์ไรส์	34
4.2.1	การศึกษาลักษณะทางกายภาพ.....	34
4.2.1.1	การวัดสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties).....	34
4.2.1.2	ความคงตัวของกะทิที่เติมนานโนอิมัลชัน.....	36

4.2.1.3 การวัดสี (L^* a^* และ b^*).....	39
4.2.2 ผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อสมบัติทางเคมีของกะทิ	40
4.2.2.1 การต้านออกซิเดชันของของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่ เติมนานาอิมัลชัน (CP+NE): DPPH assay.....	40
4.2.2.2 การต้านออกซิเดชันของของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่ เติมนานาอิมัลชัน (CP+NE): FRAP assay.....	41
4.2.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value).....	43
4.2.2.4 ค่า thiobarbituric acid (TBA)	44
4.2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ของของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานา อิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	45
4.2.4 การวิเคราะห์สารระเหยของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานา อิมัลชัน (CP+NE).....	47
4.3 ผลของการแปรรูปด้วยพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนต่อคุณภาพของกะทิที่เติมนานาอิมัลชันของ น้ำมันหอมระเหยวานิลลา	49
4.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ.....	49
4.3.1.1 การวัดสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties).....	50
4.3.1.2 การวัดความคงตัว.....	52
4.3.1.3 การวัดสี (L^* a^* และ b^*).....	54
4.3.2 สมบัติทางเคมี.....	55
4.3.2.1 การต้านออกซิเดชันของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT: DPPH assay	55
4.3.2.2 การต้านออกซิเดชันของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT: FRAP assay	57
4.3.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value).....	58
4.3.2.4 ค่า thiobarbituric acid.....	59

4.3.3 ปริมาณจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ° C.....	60
4.3.4 การวิเคราะห์สารระเหยของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT.....	62
บทที่ 5	65
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	65
ภาคผนวก ก.....	67
ภาพประกอบงานวิจัย.....	67
ภาคผนวก ข.....	74
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	74
บรรณานุกรม.....	198
ประวัติผู้เขียน.....	211



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในหัวกะทิและหางกะทิ.....	4
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการละลายของอิมัลซิไฟเออร์กับระบบอิมัลชันที่เหมาะสม	11
ตารางที่ 4.1 Minimal inhibitory concentration (ppm) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหย.....	33
ตารางที่ 4.2 Minimal bactericidal concentration (ppm) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอม.....	34
ตารางที่ 4.3 แสดงพารามิเตอร์ของสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties) ระหว่าง 0.1-500 s ⁻¹ ของอัตราเฉือน (shear rate) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย σ คือ yield stress (Pa), K คือ consistency coefficient (Pa.s ⁿ), n คือ flow behavior index และ R ² คือ coefficient of determination	35
ตารางที่ 4.4 ค่า % oiling index ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่าง	37
ตารางที่ 4.5 ค่า % creaming index ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	38
ตารางที่ 4.6 ค่าสี L* a* และ b* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	39
ตารางที่ 4.7 ค่า Peroxide value (meq O ₂ /kg) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	43
ตารางที่ 4.8 ค่า thiobarbituric acid (mg ⁻¹) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C	44
ตารางที่ 4.9 สารระเหยของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา(CP+NE).....	47

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ของสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties) ระหว่าง 0.1-500 s ⁻¹ ของอัตราเฉือน (shear rate) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ที่ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย σ คือ yield stress (Pa), K คือ consistency coefficient (Pa.s ⁿ), n คือ flow behavior index และ R ² คือ coefficient of determination.....	50
ตารางที่ 4.11 ค่า % oiling index ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ที่ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	52
ตารางที่ 4.12 ค่า % creaming index ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ.....	53
ตารางที่ 4.13 ค่าสี L* a* และ b* ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	54
ตารางที่ 4.14 ค่า Peroxide value (meq O ₂ /kg) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	58
ตารางที่ 4.15 ค่า thiobarbituric acid (mg ⁻¹) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ.....	59
ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT	62

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฝักวานิลลา ก่อนการเก็บเกี่ยว (a) และหลังจากการเก็บเป็นเวลา 3 เดือน (b).....	13
ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์การทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ (a) Dielectric barrier discharge (DBD), (b) Jet plasma, (c) corona discharge, (d) microwave discharge	16
ภาพที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อ.....	29
ภาพที่ 4.2 ค่าการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา.....	30
ภาพที่ 4.3 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้น	31
ภาพที่ 4.4 %inhibition ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมัน	32
ภาพที่ 4.5 %inhibition ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บ	41
ภาพที่ 4.6 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่าง.....	43
ภาพที่ 4.7 จำนวนจุลินทรีย์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่.....	47
ภาพที่ 4.8 %inhibition ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย a, b,.....	56
ภาพที่ 4.9 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C.....	58
ภาพที่ 4.10 จำนวนจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C.....	61

บทที่ 1

บทนำ

กะทิเป็นอาหารที่อยู่กับคนไทยมานาน สามารถนำไปใช้ปรุงอาหารได้หลากหลายทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม กะทิเป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย เนื่องจากในกะทิมีองค์ประกอบของอาหารที่เหมาะสมแก่การเจริญของจุลินทรีย์ ในปัจจุบันในทางอุตสาหกรรมก็ได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาช่วยในการรักษาคุณภาพกะทิ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เช่น การให้ความร้อนทั้งแบบ high temperature short time และ low temperature long time แต่การให้ความร้อนกับกะทิ มักส่งผลให้สีและกลิ่นของกะทิเปลี่ยนแปลงได้ (Wang et al., 2020) ในขณะที่กะทิที่ขายตามท้องตลาดมีการใช้วัตถุกันเสียพวกกรดเบนโซอิก โดยส่วนใหญ่จะใช้เกินกว่าที่กฎหมายกำหนด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคได้

นาโนอิมัลชัน (nanoemulsion) คือ ระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย น้ำ น้ำมัน และสารลดแรงตึงผิว เป็นระบบคอลลอยด์ที่มีความคงตัวสูง และมีความเสถียรมากกว่าอิมัลชัน (Kale & Deore, 2017) เนื่องจากอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดี และไม่เกิดการกระเจิงของแสง ดังนั้นสีของนาโนอิมัลชันจึงไม่ขุ่นเหมือนอิมัลชัน เมื่อนำมาใช้กับอาหาร จึงไม่ส่งผลต่อสีของอาหาร และเนื่องจากมีขนาดเล็กและกระจายตัวได้ดีจึงเกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation), การรวมหยด (coalescence) และการแยกชั้น (creaming) ต่ำกว่าระบบอิมัลชันที่มีอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่กว่า (Tadros et al., 2004) ที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย เช่น กานพลู อบเชย และโรสฮิป ในรูปแบบของนาโนอิมัลชัน (Pathania et al., 2018) อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมีข้อจำกัดในเรื่องของกลิ่น ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยวานิลลามีกลิ้นที่เป็นที่ยอมรับได้มากกว่า (Cava-Roda et al., 2012) น้ำมันหอมระเหยวานิลลา มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์พวกเชื้อรา นอกจากนี้ยังพบว่า วานิลลาสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันได้อีกด้วย (Ahmad et al., 2020)

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีในการถนอมอาหารที่กำลังเป็นที่สนใจในทางอุตสาหกรรม คือ พลาสมาอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมักเรียกว่า พลาสมาเย็น (Cold plasma) เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารโดยไม่ผ่านการให้ความร้อน (non-thermal process) พลาสมาเกิดจากการแตกตัวของก๊าซ เมื่อได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า ที่มีความต่างศักย์ที่สูง จะเกิดการแตกตัวของก๊าซ ในพลาสมาจึงประกอบด้วยอะตอมของก๊าซ ไอออนบวก ไอออนลบ อนุมูลอิสระ (free radical) และโปรตอน (proton) Cold plasma จะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระจำนวนมากโดยเฉพาะอนุมูลอิสระจากออกซิเจน (reactive oxygen species) ซึ่งเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้ และเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำทำให้รักษาคุณภาพที่ดีของอาหารไว้ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการแปรรูปโดยใช้ความร้อน ในขณะเดียวกัน ก็อาจทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันได้เช่นกัน (Gavahian et al., 2018) การใช้เทคโนโลยี Cold plasma กับอาหารอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารได้แตกต่าง

กันขึ้นอยู่กับชนิด, องค์ประกอบของอาหาร และสภาวะในการสร้างพลาสมา เช่น ชนิดของก๊าซ, เวลา, และความถี่ เป็นต้น ที่ผ่านมามีการใช้เทคโนโลยี Cold plasma กับอาหารหลากหลายชนิด เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Listeria innocua* ในเนื้อไก่ (Noriega et al., 2011) , ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica* ในเนื้อหมู (Dirks et al., 2012) และใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Escherichia coli* ในนม (Shabbir et al., 2020) แต่ยังไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้กับกะทิสดหรือกะทิที่มีการเติมแต่งด้วยนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและ Cold plasma ต่อคุณภาพและอายุการเก็บของกะทิ โดยเริ่มจากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา การศึกษาผลของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อคุณภาพของกะทิ รวมทั้งศึกษาผลของการใช้เทคโนโลยี Cold plasma ต่อคุณภาพของกะทิที่มีการเติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ สามารถนำนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไปใช้กับอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มสมบัติการต้านออกซิเดชันได้ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยี Cold plasma ร่วมกับนาโนอิมัลชัน สามารถนำไปเป็นกระบวนการแปรรูปของกะทิ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยปราศจากการใช้สารกันเสีย และลดการใช้อุณหภูมิสูง สำหรับการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลต่อสี และการสลายตัวของสารอาหารได้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กะทิ

กะทิเป็นอาหารที่อยู่กับคนไทยมานาน นำไปใช้อย่างหลากหลายทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม โดยกะทิ เป็นอาหารประเภทอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ได้มาจากการคั้นหรือสกัดจากส่วนเนื้อของมะพร้าว (endosperm) สิ่งที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าว แบ่งออกเป็น หัวกะทิและหางกะทิ ซึ่งแตกต่างกันตามความเข้มข้นของน้ำกะทิ หัวกะทิ ได้จากการคั้นครั้งแรก จึงมีความเข้มข้นของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบมากกว่าหางกะทิ (Nadeeshani et al., 2015) ความเข้มข้นของสารเหล่านั้นขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด Cancel et al. (1971) ศึกษาผลของการแปรสัดส่วนของน้ำต่อเนื้อมะพร้าวในการสกัดจาก 0:4 ถึง 4:4 พบว่าการใช้สัดส่วนของน้ำต่อเนื้อมะพร้าว เท่ากับ 4:4 ทำให้ได้ปริมาณของกะทิเพิ่มขึ้น 8-10% มากกว่าสัดส่วน 0:4 และพบว่าการใช้น้ำเย็นหรือน้ำร้อนในการสกัดมีผลต่อปริมาณองค์ประกอบในกะทิที่ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่วิธีการสกัดที่ต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิกในน้ำมันมะพร้าว โดยพบว่าการใช้น้ำร้อนในการสกัดน้ำมันมะพร้าวจะได้ปริมาณของฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน มากกว่าการสกัดโดยใช้น้ำเย็น (Seneviratne et al., 2009) โดยในกะทิมีปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกส่วนหัวกะทิและหางกะทิเท่ากับ 816 ug/100ml และ 2040 ug/100ml ตามลำดับ และมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากการวัดด้วยวิธี DPPH assay ส่วนหัวกะทิและหางกะทิเท่ากับ 35.55 % และ 51.78% ตามลำดับ (Nadeeshani et al., 2015) นอกจากนี้ กะทียังมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าในนมวัวและนมแพะ เมื่อวัดการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ เช่น FRAP, DPPH, ORAC และ TPC (Alyaqoubi et al., 2015)

กะทิมีองค์ประกอบของไขมัน 35 (% w/w), โปรตีน 2.06 (% w/w) และน้ำ 54 (% w/w) ไขมันในกะทิส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันสายกลาง (medium chain saturated fatty acid) นั่นคือ กรดลอริก (lauric acid) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งเชื้อรา และไวรัส เช่น *Aspergillus* species ที่ผลิตสารพิษ aflatoxin และ ochratoxin เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อร่างกาย (Alyaqoubi et al., 2015) อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากะทิจะมีกรดไขมันที่มีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ แต่กะทิก็ก็นับเป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย เนื่องจากกระบวนการในการผลิตกะทิสด มีหลายขั้นตอนที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย นอกจากนี้ การที่กะทิมีปริมาณไขมันและโปรตีน ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมแก่การเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้กะทิเื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้ โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) ได้กำหนดไม่ให้มีจุลินทรีย์ก่อโรคต่อไปนี้ คือ *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium perfringens* นอกจากนี้จุลินทรีย์เหล่านี้ ยังได้มีการศึกษาแยกเชื้อที่ทำให้กะทิเกิดการเน่าเสีย ได้แก่ *Bacillus licheniformis* และ *Klebsiella pneumoniae* เป็นต้น (Phattayakorn & Wanchaitanawong, 2009)

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณกรดไขมันในหัวกะทิและหางกะทิ

กรดไขมัน	ปริมาณ (%w/w)	
	หัวกะทิ	หางกะทิ
Caproic (6:0)	<0.2	<0.2
Caprylic (8:0)	9.8	10.5
Capric (10:0)	7.4	7.7
Lauric (12:0)	50.1	50.3
Myristic (14:0)	18.9	19.1
Palmitic (16:0)	6.8	6.4
Stearic (18:0)	2.3	2.1
Oleic (18:1)	3.7	3.2
Linoleic (18:2)	0.8	0.6

ที่มา: Nadeeshani (2015)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาช่วยในการรักษาคุณภาพกะทิ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เช่น การให้ความร้อนทั้งแบบ high temperature short time และ low temperature long time แต่การให้ความร้อนกับกะทิ มักส่งผลให้สีและกลิ่นของกะทิเปลี่ยนแปลง (Wang et al., 2020) ในขณะที่กะทิที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีการใช้วัตถุกันเสียพวกกรดเบนโซอิก ซึ่งมักใช้เกินกว่าที่กฎหมายกำหนด จึงอาจส่งผลต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้กำหนดปริมาณการใช้วัตถุกันเสียกรดเบนโซอิก ในอาหารประเภทผลิตภัณฑ์อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ ได้ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนี้ปัญหาที่มักเกิดกับกะทิคือ การแยกชั้นของไขมันออกจากน้ำกะทิ แม้ว่าในกะทิ จะประกอบไปด้วยโปรตีน ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ตามธรรมชาติ แต่เพราะความเข้มข้นของโปรตีนที่พื้นผิวระหว่างอนุภาคน้ำมันและน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคน้ำมันกระจายตัวอย่างอิสระในน้ำได้ จึงทำให้เกิดปัญหาการแยกชั้นระหว่างชั้นไขมันและน้ำในกะทิ (ฮะเจริญ, 2554) ซึ่งในทางอุตสาหกรรมมีการใช้แรงทางกล เช่น โฮโมจิไนเซชัน (homogenization) เพื่อแก้ปัญหการแยกชั้นของไขมัน หรืออาจเติมสารให้ความคงตัว (surfactant) ได้แก่ sodium stearoyl lactate (SSL), monoglycerides (MG) และ Tween80 เป็นต้น

2.2 นาโนอิมัลชัน

นาโนอิมัลชัน (nanoemulsion) คือ ระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย น้ำ น้ำมัน และสารลดแรงตึงผิว โดยเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีความคงตัวสูง และมีความเสถียรมากกว่าอิมัลชัน (Kale & Deore, 2017) เนื่องจากอนุภาค

น้ำมันที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร อยู่ระหว่าง 20-500 nm (Gupta et al., 2016) ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดี และเนื่องจากมีขนาดเล็ก จึงเกิดการเกาะกลุ่ม (flocculation), การรวมหยด (coalescence) และการแยกชั้น (creaming) ต่ำกว่าระบบอิมัลชันที่มีอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่กว่า (Tadros et al., 2004)

2.2.1 การเตรียมนานอิมัลชัน

ในการเตรียมนานอิมัลชันเตรียมได้จาก 2 วิธี คือ High energy methods และ Low energy methods

2.2.1.1 High energy methods ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตนานอิมัลชัน (Mahdi Jafari et al., 2006) มีการใช้พลังงานกลสูง จนทำให้สามารถลดอนุภาคขนาดใหญ่เป็นหยดขนาดนาโน โดยพลังงานกลถูกสร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ทางกล เช่น Ultrasonicators, Microfluidizer และ Homogenizers แรงดันสูง (Gonçalves et al., 2018) นอกจากนี้ เมื่อนำมาใช้กับอาหาร สามารถยืดอายุการเก็บของอาหาร โดยไม่กระทบต่อความปลอดภัยของอาหารและคุณสมบัติทางโภชนาการและประสาทสัมผัส (Gharibzahedi et al., 2019) การเตรียมนานอิมัลชันโดยใช้พลังงานสูงทำได้โดยใช้วิธีการดังต่อไปนี้ (Kumar et al., 2019)

2.2.1.1.1 โฮโมจีไนเซอร์แรงดันสูง (High-pressure homogenization)

โฮโมจีไนเซอร์แรงดันสูง เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเตรียมนานอิมัลชัน โดยใช้พลังงานกลที่สูง เพื่อสร้างขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด ก่อให้เกิดนานอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคต่ำมาก (ประมาณ 1 นาโนเมตร) (Rai et al., 2018) กลไกการทำงานเกิดจากอิมัลชันแบบหยาบ จะถูกส่งผ่านปากหลอดขนาดเล็กที่มีความดันสูง (500 ถึง 5,000 psi) ดังนั้น วิธีนี้จะเกิดความปั่นป่วนรุนแรง (intense turbulence), แรงเฉือนแบบไฮดรอลิก (hydraulic shear) และแรงควิเทชัน (cavitation) เพื่อให้ได้นานอิมัลชันที่มีขนาดเล็ก (Floury et al., 2000; Schultz et al., 2004)

2.2.1.1.2 ไมโครฟลูอิดิเซชัน (Microfluidization)

ไมโครฟลูอิดิเซชัน ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าไมโครฟลูอิดิเซอร์ กลไกการทำงานเกิดจากอิมัลชันแบบหยาบจะถูกบังคับให้ไหลผ่านช่องภายใต้แรงดันสูง (500-20,000 psi) ซึ่งแยกเป็นสองช่อง (Qadir et al., 2016; Whitesides, 2006) ทั้งสองช่องถูกส่งไปยังส่วน chamber ซึ่งเป็นส่วนที่อิมัลชันจากทั้งสองช่องมาปะทะกันด้วยความเร็วสูง การชนกันด้วยความเร็วสูงนี้ทำให้เกิดแรงเฉือน (shearing), แรงควิเทชัน (cavitation) และแรงกระแทก (impact) ทำให้สามารถผลิตนานอิมัลชันที่เสถียรได้ (Jafari et al., 2007; Lovelyn & Attama, 2011; Maa & Hsu, 1999; Mahdi Jafari et al., 2006)

2.2.1.1.3 อัลตราโซนิคเคชัน (Ultrasonication)

อัลตราโซนิคเคชัน เป็นวิธีที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการผลิตนานอิมัลชันในรูปแบบของยาและส่วนผสมในอาหาร (Ghosh et al., 2013; Salvia-Trujillo et al., 2014; Tiwari & Amiji, 2006) เป็นวิธีที่ง่าย การดำเนินการไม่ยุ่งยาก และใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นในการผลิตนานอิมัลชันแบบ High energy

method (Leong et al., 2009; Mahdi Jafari et al., 2006) กลไกการทำงานเกิดจากเครื่องอัลตราโซนิเคเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยโพรบจะปล่อยคลื่นอัลตราโซนิค และคลื่นเสียง ที่ก่อให้เกิดแรงควิเทชัน (cavitation) ซึ่งทำให้เกิดการลดขนาดอิมัลชันเป็นนาโนอิมัลชัน โดยสามารถควบคุมขนาดอนุภาคที่ต้องการและความเสถียรของนาโนอิมัลชันได้ด้วยการป้อนพลังงานและเวลาในเครื่องอัลตราโซนิเคเตอร์ที่แตกต่างกัน (Canselier et al., 2002; Leong et al., 2009)

2.2.2.2 Low energy methods โดยทั่วไปวิธีนี้ จะใช้พลังงานเคมีภายในของระบบ และต้องการการกวนเบาๆ เพื่อผลิตนาโนอิมัลชัน (Solè et al., 2012) ไม่นิยมใช้วิธีนี้ในการทำนาโนอิมัลชันใช้ในอาหาร เนื่องจากต้องใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นสูง สารลดแรงตึงผิวบางชนิด อาจส่งผลกระทบต่อรสชาติและความปลอดภัยของอาหาร หากใช้ที่ความเข้มข้นสูง (Kumar et al., 2019) วิธี Low energy method มีหลายวิธี เช่น Phase inversion emulsification method และ Self-nanoemulsification method

2.2.2.2.1 Phase inversion emulsification method

วิธีนี้เกิดจากเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเรียงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวระหว่างกระบวนการผลิต (spontaneous curvature) ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสจากอิมัลชันน้ำในน้ำมันเป็นน้ำมันในน้ำ หรือเปลี่ยนจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมันระหว่างกระบวนการอิมัลซิฟิเคชัน การผลิตนาโนอิมัลชันโดยการเปลี่ยนวัฏภาคลักษณะนี้ เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิ, องค์ประกอบในระบบ ฯลฯ (Solè et al., 2010) การให้อุณหภูมิที่สูง ทำให้สารลดแรงตึงผิวเกิดปฏิกิริยา dehydration ส่งผลให้สารลดแรงตึงผิวมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophilic group) มากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมันได้

2.2.2.2.2 Self-nanoemulsification method

การสร้างนาโนอิมัลชันนี้ สามารถทำได้โดยไม่ต้องอาศัยการเปลี่ยนวัฏภาค แต่อาศัยการแพร่ของสารลดแรงตึงผิวอย่างรวดเร็วจากวัฏภาคภายใน (dispersed phase) ไปสู่วัฏภาคภายนอก (continuous phase) ซึ่งทำให้เกิดความปั่นป่วนจนนำไปสู่การสร้างอิมัลชันขนาดนาโนได้ (Pouton, 2000; Solans & Solé, 2012; Solè et al., 2012)

โดยในการทำนาโนอิมัลชันสามารถควบคุมขนาดหยดไขมันได้ ด้วยการเลือกองค์ประกอบของสูตรที่เหมาะสม (Kumar et al., 2019) มีการศึกษาพบว่า การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวอย่าง Tween80 จะทำให้ลดขนาดของหยดไขมันในนาโนอิมัลชันได้ดีกว่าการใช้ Tween20 เพราะโครงสร้าง Tween80 มีความไม่อิมตัวมากกว่า Tween20 ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิต่ำสุดในการผลิตอิมัลชัน ทำให้การใช้ Tween80 มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าและมีความคงตัวมากกว่า และพบว่าการใช้น้ำมันงาผสมกับยูจีนอล จะให้ขนาดหยดไขมันที่เล็กกว่าและมีความเสถียรสูงกว่านาโนอิมัลชันยูจีนอลที่ไม่มีน้ำมันงา โดยในงานวิจัยนี้พบว่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวและน้ำมันที่ทำให้นาโนอิมัลชันมีขนาดเล็กและมีความคงตัวมากที่สุด คือ 3:1 และเป็นสูตรที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ S.

aureus ในน้ำส้ม โดยพบว่ามีการลดลงของจำนวนแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าการใช้โซเดียมเบนโซเอตที่ความเข้มข้นเท่ากัน (Ghosh et al., 2014) และจากงานวิจัยของ Campolo et al. (2020) ได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยจากพืช โดยได้มีการแปรสัดส่วนและชนิดของน้ำมันและสารลดแรงตึงผิว คือใช้น้ำมันหอมระเหยสะระแหน่ (Sage, peppermint), น้ำมันหอมระเหยโรสแมรี่ (rosemary), น้ำมันหอมระเหยโกศจุฬาลัมพา (artemisia), น้ำมันหอมระเหยยี่ห่วย (fennel), น้ำมันหอมระเหยไอบัยกัก (anise) และน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์ (lavender) สำหรับสารลดแรงตึงผิวใช้ Tween20, Tween80, Span20, และ Span80 โดยใช้สัดส่วนระหว่างน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดเท่ากับ 15:5 พบว่าสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้นาโนอิมัลชันมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดและมีความเสถียรเมื่อเวลาผ่านไป คือ Tween80 และพบว่าให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้กับน้ำมันหอมระเหยโกลจุฬาลัมพา โดยมีขนาดอนุภาค 116 nm ถึง 128 nm เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน และจากงานวิจัยของ Yazgan et al. (2019) พบว่าสูตรของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยมะนาวที่เหมาะสมที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้ปลาเน่าเสีย คือ อัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยต่อสารลดแรงตึงผิว (Tween80) เท่ากับ 10:1 และสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ Tween80 จากการศึกษาข้างต้น พบว่า การผลิตนาโนอิมัลชันที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของน้ำมันกับสารลดแรงตึงผิว และวิธีในการทำนาโนอิมัลชัน นอกจากนี้การนำน้ำมันหอมระเหยมาทำนาโนอิมัลชันที่มาใช้กับอาหาร อาจจะต้องคำนึงถึงความเข้ากันได้กับอาหารนั้นๆ ด้วยที่ผ่านมามีการใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหยในรูปแบบของนาโนอิมัลชัน เช่น กานพลู อบเชย และโหระพา (Pathania et al., 2018) อย่างไรก็ตามน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรมีข้อจำกัดในเรื่องของกลิ่น ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.2.2 กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชัน

กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชัน มีดังนี้ (Donsi & Ferrari, 2016)

2.2.2.1 การที่ขนาดของหยดไขมันมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องโปรตีนเข้าไปภายในเยื่อหุ้มจุลินทรีย์ได้ดี และปลดปล่อยน้ำมันที่มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ในเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ โดยส่วนที่ไม่ละลายน้ำของน้ำมันจะไปทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของฟอสโฟลิปิด (phospholipid bilayer) และทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของสารเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย นำไปสู่การรั่วไหลของกรดนิวคลีอิก, โปรตีน และโพแทสเซียมไอออนจากภายในเยื่อหุ้มเซลล์ และทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ตายในที่สุด

2.2.2.2 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิมัลซิไฟเออร์กับฟอสโฟลิปิดบนเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้บนผิวเยื่อหุ้มเซลล์เกิดช่องว่าง ทำให้นาโนอิมัลชันผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์และปลดปล่อยน้ำมันที่มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ในเซลล์ได้ดี

2.2.2.3 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุบวกของอนุภาคนาโนอิมัลชันจากอิมัลซิไฟเออร์ประจุบวกกับประจุลบของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ทำให้เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ตำแหน่งที่เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ แต่สำหรับนาโนอิมัลชันที่ประกอบด้วยอิมัลซิไฟเออร์ประจุลบ พบว่าไม่ส่งผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์

2.2.3 ความไม่เสถียรของนาโนอิมัลชัน

นาโนอิมัลชันมีขนาดของหยดไขมันที่เล็ก ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม นาโนอิมัลชันก็มีแนวโน้มที่จะสูญเสียความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา โดยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ (ประเสริฐ, 2560)

2.2.3.1 ออสวอดต์ไรเฟนนิ่ง (Ostwald ripening)

ออสวอดต์ไรเฟนนิ่ง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบอิมัลชัน เกิดจากบริเวณที่ล้อมรอบหยดไขมันมีความสามารถในการละลายได้บางส่วนในเฟสของน้ำ (aqueous phase) ทำให้หยดน้ำมันเกิดการรวมตัวกันระหว่างหยดไขมันขนาดเล็กและหยดไขมันขนาดใหญ่ โดยหยดไขมันขนาดเล็กเคลื่อนที่โดยมีน้ำเป็นตัวกลางไปยังหยดไขมันขนาดใหญ่ เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของหยดไขมันขนาดเล็กสูงกว่าหยดไขมันขนาดใหญ่ (Tadros et al., 2004) ทำให้ระบบอิมัลชันสามารถเป็นการแยกชั้นระหว่างน้ำมันกับน้ำได้ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การเติมสารยับยั้งออสวอดต์ไรเฟนนิ่ง เช่น เลซิติน สามารถชะลอการเกิดปรากฏการณ์นี้ได้ การเติมเลซิติน ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายในน้ำในนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยใหม่ สามารถยับยั้งการเกิดปรากฏการณ์นี้ได้ ทำให้นาโนอิมัลชันนี้ไม่เกิดการแยกชั้นหลังจากผ่านไป 6 เดือน (Moghimi et al., 2016)

2.2.3.2 การเกาะกลุ่ม (flocculation)

การเกาะกลุ่ม การเกิดการเกาะกลุ่มเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างหยดไขมัน (long-range repulsive interaction) ทำให้หยดไขมันเกิดการเกาะกลุ่มกันของหยดไขมันขนาดเล็กโดยไม่รวมตัวกัน เกิดเป็นอนุภาคเล็กเรียงชิดกันจนเกิดเป็นกลุ่มอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้เร่งการเกิดการแยกชั้นได้ (McClements, 2007) นอกจากนี้ การเกาะกลุ่มยังทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น และอาจนำไปสู่การเกิดเจลในระบบอิมัลชันได้ (Demetriades & McClements, 1998, 1999; Quemada & Berli, 2002)

2.2.3.3 การรวมหยด (coalescence)

การรวมหยด เป็นกระบวนการที่เกิดจากหยดของไขมันมารวมกันตั้งแต่ 2 หยดขึ้นไป เพื่อสร้างเป็นหยดไขมันที่ใหญ่ขึ้นเพียงหยดเดียว การรวมตัวกันนี้ ทำให้ระบบอิมัลชันเกิดตะกอนได้รวดเร็วขึ้น เนื่องจากขนาดของหยดไขมันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในลักษณะปรากฏของระบบอิมัลชัน หยดไขมันที่ใหญ่ขึ้นจากการรวมหยด จะเกิดกระเจิงแสงได้น้อย ทำให้แสงสามารถทะลุผ่านเข้าไปในอิมัลชันได้มากขึ้น เพราะการรวมหยดทำให้จำนวนของอนุภาคไขมันลดลง ทำให้การกระเจิงแสงที่อนุภาคไขมันน้อยลง ดังนั้น อิมัลชันหลังการเกิดการรวมหยด จึงอาจมีความขุ่นน้อยลงและมีสีที่เข้มขึ้น (McClements, 2002) โดยในระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ การเกิดการรวมหยดจะนำไปสู่การก่อตัวของชั้นน้ำมันที่ด้านบน โดยสามารถวัดได้จากค่า oiling off (OI) (McClements, 2007) ดังสมการที่ (2.1)

$$OI (\%) = 100 \times \frac{H_o}{H_E} \quad (2.1)$$

เมื่อ H_o คือ ความสูงของส่วนน้ำมัน และ H_E คือ ความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน

2.2.3.4 การแยกชั้น (creaming)

การแยกชั้น เป็นการเคลื่อนย้ายมวลของหยดอิมัลชันไปยังด้านบนของอิมัลชัน โดยความเร็วของหยดอิมัลชันถูกขับเคลื่อนจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างหยดอิมัลชันและเฟสน้ำ (continuous phase) โดยหยดอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเกิดการแยกชั้นขึ้นสู่ด้านบนของอิมัลชันได้เร็วกว่า ดังนั้น จึงมีหยดอิมัลชันขนาดใหญ่ตามด้วยหยดอิมัลชันขนาดเล็กจากด้านบนสู่ด้านล่างของระบบอิมัลชัน นอกจากนี้ การเกิดการเกาะกลุ่มและการรวมตัว เป็นกระบวนการทำให้ขนาดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการเกิดการแยกชั้นเร็วขึ้นได้ (Wilde, 2019.) โดยการแยกชั้นนี้ สามารถวัดได้จากค่า creaming index (CI) (McClements, 2007) ดังสมการที่ (2.2)

$$CI (\%) = 100 \times \frac{H_s}{H_E} \quad (2.2)$$

เมื่อ H_s คือ ความสูงของส่วนใส และ H_E คือ ความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน

2.2.4 การประเมินลักษณะของนาโนอิมัลชัน

2.2.4.1 การวัดขนาดอนุภาค (particle size)

เป็นการวิเคราะห์ลักษณะของนาโนอิมัลชันที่สำคัญ ซึ่งทำให้ทราบขนาดอนุภาคเฉลี่ย และการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องมาจากการรวมตัวกันของอนุภาค โดยใช้เครื่องมือหลายชนิด เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy), เครื่อง photo correlation spectroscopy หรือเทคนิคการกระเจิงแสงแบบพลวัต (dynamic light scattering) (รังสิมาวงศ์ & จ้าวศิริพัฒน์, 2557)

2.2.4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาค (polydispersity index, PDI)

เป็นค่าที่บ่งบอกการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งบอกถึงการกระจายตัวของหยดไขมันในระบบอิมัลชัน ซึ่งนาโนอิมัลชันควรมีขนาดหยดไขมันที่ใกล้เคียงกัน คือ มีการกระจายของขนาดแคบ (narrow size distribution) โดยมีค่า PDI ไม่เกิน 0.2 (รังสิมาวงศ์ & จ้าวศิริพัฒน์, 2557)

หากมีค่า PDI สูง หมายถึง ขนาดของหยดไขมันในระบบอิมัลชันมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากเกิดการรวมกลุ่มของขนาดอนุภาคระหว่างการวิเคราะห์ ทำให้เกิดความไม่คงตัวในระบบอิมัลชัน (Mudalige et al., 2019)

2.2.4.5 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา (zeta potential)

เป็นการวิเคราะห์ประจุบนพื้นผิวของอนุภาคของระบบอิมัลชัน สามารถบอกความเสถียรทางกายภาพของระบบนาโนอิมัลชันได้ (Jiang et al., 2009) โดยถ้าศักย์ไฟฟ้ามีค่ามาก บ่งบอกถึงความเสถียรทางกายภาพที่ดีของระบบอิมัลชัน เนื่องจากการผลักกันทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ของอนุภาคแต่ละตัว โดยค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า -30 mV และสูงกว่า $+30$ mV เป็นค่าที่เพียงพอที่ทำให้มีความคงตัวของระบบอิมัลชัน แต่ในกรณีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าน้อย อาจส่งผลให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคและการเกาะกลุ่ม (flocculation) เนื่องจากแรงดึงดูดของ Van der Waals ที่กระทำต่อกัน (Freitas & Müller, 1998; Hunter, 2013; Shah et al., 2014)

2.3 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว หรือเรียกว่า surface-active agent เป็นโมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวระหว่าง 2 เฟส (ของแข็ง, ของเหลว, และก๊าซ) ระบบ 2 เฟสที่พบบ่อยที่สุดในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ระบบอิมัลชัน, โฟม และการกระจายตัว เป็นต้น โดยระบบอิมัลชันประกอบด้วย ของเหลว 2 ชนิดที่เข้ากันไม่ได้ อิมัลชันในอาหารทั่วไป คือ อิมัลชันน้ำมันในน้ำ (o/w) และอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (w/o) อิมัลชันสามารถเกิดขึ้นได้จากการเขย่าหรือการคน อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไประบบอิมัลชันจะไม่เสถียร จะเกิดการแยกชั้นเป็น 2 ส่วน ดังนั้น อิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดหนึ่ง จะเป็นสารที่ทำให้ระบบอิมัลชันเสถียรได้ (Miller, 2016)

2.3.1 ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ มีหลายประเภท จำแนกตาม ประจุของส่วนที่ชอบน้ำ (charge in aqueous systems), ความสามารถในการละลาย (solubility), สัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophilic/lipophilic balance :HLB) และส่วนประกอบของหมู่ฟังก์ชัน (functional groups)

2.3.1.1 ประจุของส่วนที่ชอบน้ำ (charge in aqueous systems)

อิมัลซิไฟเออร์มี 4 ประเภทตามประจุของกลุ่มที่ชอบน้ำเมื่อละลายในน้ำ คือ ประจุลบ (anionic) ประจุบวก (cationic) ไม่มีประจุ (nonionic) หรือแอมโฟเทอริก (amphoteric) อิมัลซิไฟเออร์ประจุลบ สร้างไอออนที่มีประจุลบ มีประสิทธิภาพในช่วง pH เป็นกลางถึงด่าง และยังไวต่อความแรงของไอออนิก (ionic strength) ดังนั้นจึงทำงานได้ไม่ดีในระบบที่มีเกลือสูง โดยเกลือเป็นตัวป้องกันประจุลบ ดังนั้นอิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุลบ จึงไม่มีประสิทธิภาพและทำให้อิมัลชัน เกิดการแตกตัวอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างของอิมัลซิไฟเออร์ประจุลบ เช่น โซเดียม (sodium), สเตียโรอิล-2-แลคตเลต (SSL) เป็นต้น ส่วนอิมัลซิไฟเออร์ประจุบวก สร้างไอออนที่มีประจุบวกในน้ำและทำงานในช่วง pH ที่เป็นกรด มีความเป็นพิษและไม่นิยมใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร สำหรับอิมัลซิไฟเออร์แบบไม่มีประจุ มีประสิทธิภาพสูง ไม่ไวต่อ pH และความเข้มข้นของเกลือ ตัวอย่างของอิมัลซิไฟเออร์ไม่มีประจุ เช่น โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ (MDGs) และอิมัลซิไฟเออร์แอมโฟเทอริก จะสร้างทั้งไอออนที่มีประจุบวกและประจุลบเมื่อละลายในน้ำ เช่น เลซิติน

2.3.1.2 ความสามารถในการละลาย (solubility)

อิมัลซิไฟเออร์ที่มีส่วนชอบน้ำมากกว่า จะใช้กับระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยอิมัลซิไฟเออร์มีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ทำให้มีส่วนที่เกิดอันตรกิริยากับน้ำ จึงช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เข้าใกล้ศูนย์ น้ำจะไม่ก่อตัวเป็นหยดอีกต่อไปและกลายเป็นเฟสต่อเนื่องของอิมัลชัน โดยปล่อยให้ไขมันกระจายตัวเป็นอนุภาคในระบบ ส่วนอิมัลซิไฟเออร์ที่มีส่วนไม่ชอบน้ำมากกว่า จะมีส่วนที่ละลายน้ำได้น้อย แต่จะเกิดอันตรกิริยากับเฟสน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ เป็นผลให้แรงตึงผิวของน้ำไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นน้ำจึงยังคงเป็นหยดเล็กๆ ในน้ำมัน ซึ่งทำให้เกิดระบบอิมัลชันน้ำในน้ำมัน

2.3.1.3 สัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophilic/lipophilic balance :HLB)

ในการจำแนกอิมัลซิไฟเออร์มีหลายวิธี ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ hydrophilic/lipophilic balance (HLB) โดย HLB เป็นดัชนีของคุณสมบัติการละลายของอิมัลซิไฟเออร์และระบุประเภทของอิมัลชัน (o/w หรือ w/o) ที่อิมัลซิไฟเออร์เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 2 ค่า HLB สามารถคำนวณได้ตามโครงสร้างโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์หรือกำหนดโดยการสังเกตชนิดของอิมัลชัน ค่า HLB มีตั้งแต่ 0 ถึง 20 อิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB ต่ำจะละลายในน้ำมันได้มากกว่า ในขณะที่อิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB สูงกว่าจะละลายน้ำได้มากกว่า โดยทั่วไป อิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่า HLB เท่ากับ 3-6 เป็นสารลิโปฟิลิก (lipophilic) และเหมาะสมที่สุดสำหรับอิมัลชันน้ำในน้ำมัน อิมัลซิไฟเออร์ในช่วงนี้ได้แก่ MDGs และโพรพิลีนไกลคอลโมโนสเตียเรต (PGMS) อิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำที่มีค่า HLB เท่ากับ 10-18 เหมาะสมที่สุดสำหรับอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ได้แก่ พอลิซอเบท 80 (Tween80) และเลซิติน โดยประสิทธิภาพของอิมัลซิไฟเออร์ขึ้นอยู่กับสภาวะการแปรรูปและส่วนผสม เช่น น้ำตาล เกลือ และโปรตีน อย่างไรก็ตาม HLB สามารถให้ค่าประมาณลักษณะความชอบน้ำของอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ และสามารถทำหน้าที่สำหรับการจำแนกและการเลือกอิมัลซิไฟเออร์ได้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการละลายของอิมัลซิไฟเออร์กับระบบอิมัลชันที่เหมาะสม

อิมัลซิไฟเออร์	HLB	ระบบอิมัลชัน
Mono-and diglycerides Glycerol	4	w/o
Span 20	8.6	w/o
Diacetyl tartaric acid esters of monoglyceride	9	w/o
Sodium stearyl-2-lactylate	15	o/w
Polysorbate 65	11	o/w
Polysorbate 80	15	o/w
Polysorbate 20	16.7	o/w

ที่มา: Miller (2016)

2.3.1.4 ส่วนประกอบของหมู่ฟังก์ชัน (functional groups)

อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอาหาร ถูกสร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) ของกรดไขมันที่กินได้ ซึ่งนำมาจากแหล่งสัตว์หรือพืชที่มีสารโพลีออล (เช่น กลีเซอรอล โพรพิลีนไกลคอล และซอร์บิทอล) ในการเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดอินทรีย์ จะทำให้เกิดอิมัลซิไฟเออร์หลากหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน อิมัลซิไฟเออร์อาหารที่ใช้กันมากที่สุด ได้แก่ MDGs, stearyl lactylates, sorbitan esters, poly-glycerol esters, sucrose esters และ lecithin เป็นต้น

2.3.2 กลไกการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์

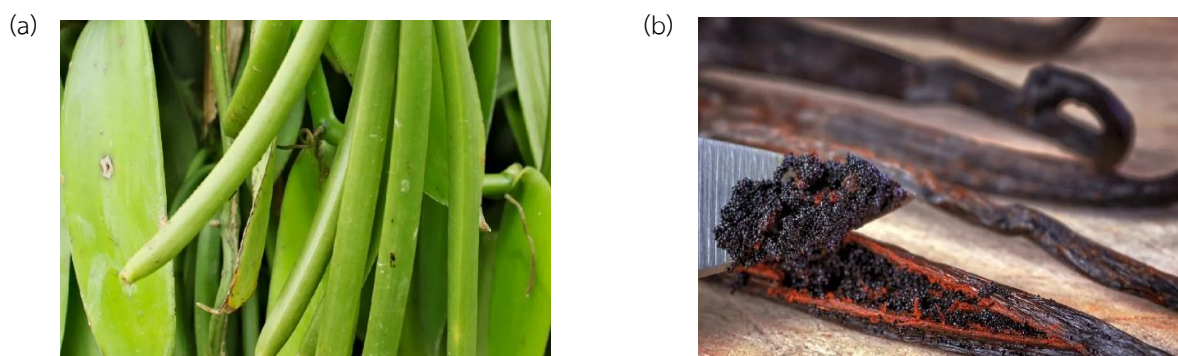
2.3.2.1 การเติมสารให้ความคงตัว เป็นการส่งเสริมการก่อตัวของหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กระหว่างการสร้างอิมัลชัน ซึ่งจะทำให้อัตราการเกาะตัวกันช้าลง เมื่อเติมอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมลงในส่วนผสมของน้ำมันและน้ำ โมเลกุลจะปรับทิศทางที่ส่วนต่อประสานระหว่างน้ำกับหยดน้ำมัน หัวที่ชอบน้ำจะถูกดึงดูดไปที่น้ำ ในขณะที่หางที่ชอบน้ำจะถูกผลักโดยน้ำและดึงดูดไปยังน้ำมัน เป็นผลให้หาง lipophilic จะทำปฏิกิริยากับหยดน้ำมันในขณะที่หัวที่ชอบน้ำจะทำปฏิกิริยากับน้ำที่พื้นผิวของหยดน้ำมัน ดังนั้น จึงตอบสนองที่ส่วนต่อประสานระหว่าง 2 เฟสที่เข้ากันไม่ได้ เมื่อสิ่งนี้เกิดขึ้น แรงตึงผิวของหยดน้ำมันจะลดลงอย่างมาก ซึ่งจะช่วยลดแรงตึงผิวและทำให้หยดละอองถูกแบ่งย่อยเป็นละอองขนาดเล็กลงในระหว่างการผสม โดยประสิทธิภาพของการลดแรงตึงผิวจะแตกต่างกันไปตามอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ

2.3.2.2 สารให้ความคงตัว เป็นตัวกีดขวางประจุทางไฟฟ้า (electrical barrier) ระหว่างน้ำและน้ำมันได้ เพราะเมื่อมีประจุบนหยดไขมัน จะดึงดูดกันทำให้ยึดจับกันเป็นหยดไขมันที่ใหญ่ขึ้น (coalescence) (Miller, 2016) โดยอิมัลซิไฟเออร์ประจุลบ มีประจุลบที่ผลักกันเพื่อแยกหยดไขมันออกจากกัน และอิมัลซิไฟเออร์ประจุบวก ก็มีประจุบวกที่ขับไล่กัน เพื่อให้อิมัลชันเสถียร อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุลบและประจุบวกร่วมกัน เนื่องจากประจุที่ตรงกันข้ามจะเกิดอันตรกิริยากัน ทำให้อิมัลซิไฟเออร์ไม่ทำงาน

2.3.2.3 อีกรูปแบบหนึ่งของการทำให้คงตัวถูกใช้โดยอิมัลซิไฟเออร์ที่มีส่วนที่ชอบน้ำขนาดใหญ่ เช่น EMG หัวที่ชอบน้ำขนาดใหญ่เก็บน้ำปริมาณมากและสร้างขึ้นน้ำไว้รอบๆ หยดไขมัน ซึ่งป้องกันการเกาะตัวกัน

2.4 วานิลลา

วานิลลา เป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับกล้วยไม้ มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศเม็กซิโก โดยส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์คือ ส่วนของฝักวานิลลา (bean) โดยสีของฝักวานิลลาเป็นสีเขียว และจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ดังภาพที่ 2.4 หลังจากการเก็บไว้เป็นเวลา 3 เดือน เพื่อให้กลิ่นของวานิลลาปลดปล่อยออกมาอย่างเต็มที่ (Ahmad et al., 2020) โดยสารที่ให้กลิ่นหลักของวานิลลา คือ สารวานิลลิน ซึ่งให้กลิ่นรสเป็นสัดส่วน 1/3 และอีกสัดส่วน 2/3 เป็นสารที่ประกอบที่ระเหยง่ายและไม่ระเหยอื่นๆ เช่น สารประกอบกลุ่มฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) นั่นคือ vanillic acid, 4-hydroxybenzyl alcohol, 4-hydroxy-3-methoxybenzyl alcohol, และ 4-hydroxybenzaldehyde ที่อยู่รวมกันแล้ว ทำให้เกิดกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของวานิลลา (Shyamala et al., 2007)



ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของฝักวานิลลา ก่อนการเก็บเกี่ยว (a) และหลังจากการเก็บเป็นเวลา 3 เดือน (b)
ที่มา: <https://www.gib.co.th>

สารที่เป็นองค์ประกอบหลักในวานิลลาที่นำมาสกัดแล้ว มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันได้ดี พบว่าจากการวัด reducing power ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าค่า reducing power ของ 4-hydroxy-3-methoxybenzyl alcohol > vanillic acid > 4-hydroxybenzyl alcohol > 4-hydroxybenzaldehyde=vanillin โดย 4-hydroxy-3-methoxybenzyl alcohol มีค่า reducing power สูงกว่า BHA (Shyamala et al., 2007) ดังนั้นกลไกในการต้านอนุมูลอิสระของวานิลลา อาจเกิดจากสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในวานิลลาที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชัน ที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ ยิ่งไปกว่านั้น วานิลลาก็มีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ โดยสามารถช่วยลดการผลิตสาร violacein ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น (Klimes & Lamparsky, 1976) เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากพวกโปรโตซัวหรือเชื้อรา (Brucker et al., 2008) และได้มีการใช้สารสกัดจากวานิลลามาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย พบว่าการเคลือบแอลจินเนตร่วมกับน้ำมันหอมระเหยวานิลลาบนแก้วมังกร สามารถยืดอายุการเก็บของแก้วมังกรได้นานขึ้น 9 วัน (Utama et al., 2020) และสารสกัดวานิลลินจากใบวานิลลา สามารถต้านจุลินทรีย์ เช่น *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ (Uddin et al., 2003) และมีการนำมาใช้ร่วมกับกานพลูและอบเชย ในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ *Listeria monocytogenes* และ *Escherichia coli* O157:H7 ในนมพาสเจอร์ไรส์ เพื่อลดผลกระทบทางประสาทสัมผัส (Cava-Roda et al., 2012)

2.4.1 วานิลลิน (Vanillin)

วานิลลิน (4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde; vanillin) เป็นฟีนอลอัลดีไฮด์ สารประกอบนี้สะสมอยู่ในฝักของกล้วยไม้ *Vanilla* ในรูปของไกลโคไซด์ (glycoside), ไกลโควานิลลิน (glucovanillin) ซึ่งถือเป็นสารต้านจุลชีพและสารต้านอนุมูลอิสระ (Ahmad et al., 2020) โดยเมื่อกวานิลลาเข้าสู่กระบวนการบ่ม จะเกิดการทำงานของเอนไซม์ β -D-glucosidases (Shyamala et al., 2007) เปลี่ยนจากไกลโควานิลลินเป็นวานิลลิน ทั้งวานิลลินและไกลโควานิลลินมาจากพินิลอะลานีนและไทโรซีน ซึ่งเป็นสารที่มีอยู่ในพืช ไม่ว่าจะเป็นแบบอิสระหรือเชื่อมโยงกับ

คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ซึ่งทำหน้าที่ในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการรุกรานจากเชื้อโรคได้ (Elsherbiny et al., 2016)

2.4.1.1 สมบัติการต้านออกซิเดชันของวานิลลิน

สมบัติการต้านออกซิเดชันของวานิลลิน มีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยมีกลไกการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ เนื่องจากได้มีการศึกษาทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของวานิลลินในระหว่างการเก็บ 120 min โดยทำการวัดการต้านออกซิเดชันหลายวิธี นั่นคือ วิธี ABTS•+-scavenging assay, และวิธี DPPH assay พบว่า ในการทดสอบด้วยวิธี ABTS•+-scavenging assay ซึ่งเป็นการทดสอบดูความสามารถในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน วานิลลินแสดงสมบัติการต้านออกซิเดชันเริ่มต้นเท่ากับแอสคอร์บิกแอซิด (ascorbic acid) และโทรลอกซ์ (Trolox) แต่เมื่อเวลาผ่านไป 120 min พบว่า วานิลลิน มีการลดลงของสมบัติการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าแอสคอร์บิกแอซิดและโทรลอกซ์ สำหรับการทดสอบวิธี DPPH assay พบว่า วานิลลินเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ DPPH แล้วไม่มีผลทำให้อนุมูลอิสระ DPPH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลา 120 min ซึ่งเกิดจากวานิลลิน ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระผ่านกลไก self-dimerization ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดปฏิกิริยาร่วมกันของปฏิกิริยาสูงกับ ABTS•+ (Tai et al., 2011) นอกจากนี้ อาจเกิดจากปฏิกิริยาย้อนกลับระหว่าง อนุมูลอิสระของ DPPH กับ สารประกอบฟีนอลบางชนิด เช่น ยูจีนอล, อนุพันธ์ของยูจีนอล เช่น วานิลลิน โดยจะเกิดกับโครงสร้างที่ไม่สามารถเกิด resonance หรือ delocalization ได้ทั้งโมเลกุล แต่จะเกิดการ delocalization ที่ตำแหน่ง para เท่านั้น ทำให้เกิดการรับไฮโดรเจนอะตอมจาก DPPHH และได้ผลิตภัณฑ์กลับมาเป็นอนุมูลอิสระ DPPH อีกครั้ง ส่งผลให้การวัดฤทธิ์การต้านออกซิเดชันไม่แสดงในการทดสอบวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (Almeida et al., 2011; Bondet et al., 1997)

2.4.1.2 สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของวานิลลิน

วานิลลิน มีผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มแบคทีเรีย (Holetz et al., 2002) ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารสำคัญภายในเซลล์แบคทีเรีย โดยมีประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* (Bezerra et al., 2017)

Rupasinghe และคณะ (2006) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter aerogenes* และ *Salmonella enterica subsp.*), จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผลไม้ (*Candida albicans*, *Lactobacillus casei*, *Penicillium expansum* และ *Saccharomyces cerevisiae*) และจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ใช้ออกซิเจน พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อยู่ในช่วง 6-18 mM โดยที่ความเข้มข้นของวานิลลิน 12 mM สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ใช้ออกซิเจนได้ 37% และ 66% สำหรับในผลไม้แอปเปิ้ลแดงและแอปเปิ้ลเขียว ตามลำดับ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 19 วัน

Utama และคณะ (2020) ศึกษาการใช้ไขมันหอมระเหยวานิลลาที่ความเข้มข้นต่างๆ (0%, 0.1%, 0.3%, 0.6%) ในการยืดอายุการเก็บของผลมะละกอทั้งผล พบว่าการใช้ไขมันหอมระเหยวานิลลาที่ความเข้มข้น 0.6% สามารถยับยั้งจุลินทรีย์เชื้อราได้ และสามารถยืดอายุการเก็บของมะละกอได้นาน 9 วัน

Cava-Roda และคณะ (2010) ศึกษาการต้านจุลินทรีย์ (*Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*) ของวานิลลินในนมไขมันเต็ม พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดของวานิลลินที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Escherichia coli* และ *Listeria monocytogenes* ในนมไขมันเต็มคือ 3,000 ppm (pH7), 2,800 ppm (pH6) และ 2,800 ppm (pH7), 2,400 ppm (pH6) ตามลำดับ และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ *Escherichia coli* และ *Listeria monocytogenes* คือ 8,000 ppm (pH7), 6,000 ppm (pH6) ตามลำดับ สำหรับ *Escherichia coli* ค่า pH ไม่มีผลต่อความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์และความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งจุลินทรีย์

2.5 พลาสมาอุณหภูมิต่ำ (nonthermal plasma process)

พลาสมา คือสถานะที่ 4 ของสสาร เกิดจากการที่โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซเกิดการเป็นไอออน(ionization) พลาสมาจะประกอบไปด้วย อิเล็กตรอน ไอออน อนุภาคที่มีประจุ อนุภาคลอิสระ และอนุภาคของก๊าซ โดยพลาสมามีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า พลาสมาเกิดขึ้นได้จากหลายกระบวนการ ได้แก่ การทำให้ร้อน (heating), การดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า (ionizing radiation), และการทำให้เกิดไอออนจากการชน (collisional ionization) สถานะพลาสมาแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (บุญญวรรณ, 2558)

2.5.1 พลาสมาตามธรรมชาติ (natural plasma) เป็นพลาสมาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟ้าแลบ แสงออโรรา และโคโรนาดวงอาทิตย์ เป็นต้น

2.5.2 พลาสมาปฏิบัติการ (laboratory plasma) แบ่งเป็น พลาสมาฟิวชัน (fusion plasma) และการดิสชาร์จก๊าซ (gas discharge) ความแตกต่างของทั้งสองคือ เมื่อเกิดการหลอมตัวของอนุภาคในพลาสมา พลาสมาฟิวชันจะสามารถรักษาสถานะพลาสมาไว้ได้เองโดยสมดุลพลังงานนิวเคลียร์(ความร้อน) ขณะที่การดิสชาร์จก๊าซจำเป็นต้องมีสนามไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานจ่ายไว้เพื่อคงสถานะพลาสมาไว้เสมอ โดยการทำให้เกิดหรือการคงสถานะพลาสมาไว้ อาจใช้ในรูปแบบพลังงานความร้อนหรือการใช้สนามไฟฟ้า ดังนั้น การดิสชาร์จก๊าซ จึงแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.5.2.1 พลาสมาอุณหภูมิสูง (thermal plasma) คือ จากการเปลี่ยนสถานะ ของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากสถานะก๊าซต่อไปเรื่อยๆ หรือการให้พลังงานจลน์แก่อนุภาคก๊าซต่อไป จะได้พลาสมาของก๊าซนั้นๆ

2.5.2.2 พลาสมาอุณหภูมิต่ำ (non-thermal plasma) คือ การให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ถูกติดตั้งในหลอดบรรจุก๊าซ เมื่อความต่างศักย์หรือหนึ่งสนามไฟฟ้ามีค่าสูงพอ ก๊าซเกิดการแตกตัวกลายเป็นไอออนและอิเล็กตรอน เกิดเป็นพลาสมาในที่สุด

2.6 อุปกรณ์ในการทำพลาสมา

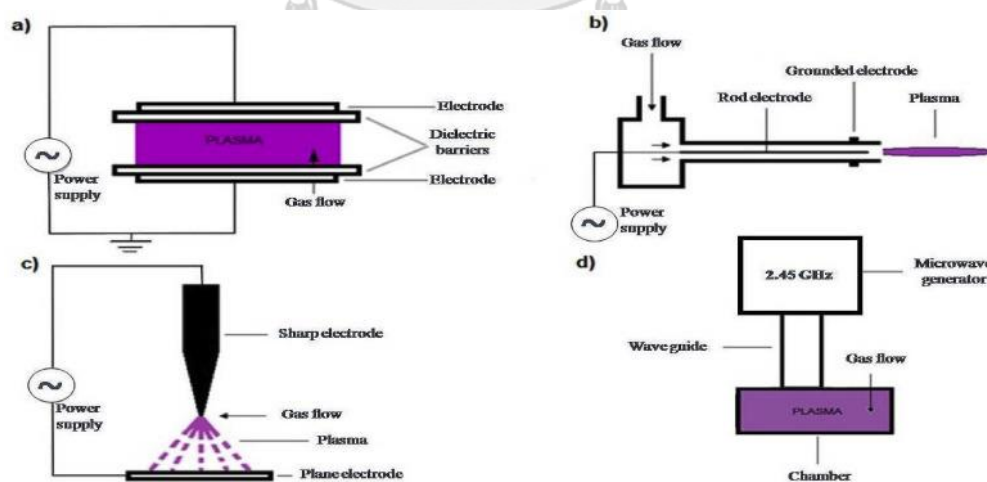
การเกิดพลาสมาสามารถเกิดได้จากหลายเทคนิค เช่น dielectric barrier discharge (DBD), corona discharge, microwave discharge และ plasma jets (Bárdos & Baránková, 2010; Conrads & Schmidt, 2000; Tendero et al., 2006)

2.6.1 Dielectric barrier discharge (DBD) เป็นการทำงานของอิเล็กโทรด 2 ขั้ว ส่วนหนึ่งติดกับ dielectric barrier ซึ่งทำให้เกิดความสม่ำเสมอในระบบ และรักษาเสถียรภาพของวัสดุ ดังภาพ a ซึ่งถูกคั่นด้วยชั้นอิเล็กทริก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสร้างประกายไฟ โดยทั่วไป จะทำงานที่ความถี่ 0.05-500 kHz เป็นระบบไดนามิกที่ทำงานได้กับก๊าซหลายชนิด และให้การปลดปล่อยการเกิดพลาสมาที่เป็นเนื้อเดียวกัน

2.6.2 Jet plasma ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 ขั้ว โดยอิเล็กโทรดที่อยู่ด้านใน ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับพลังงานความถี่สูง ที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของก๊าซ ซึ่งจะถูกลอยออกมาทางหัวฉีด (nozzle) ดังภาพ b ข้อดีของการเกิดพลาสมาเทคนิคนี้ คือ สามารถใช้กับพื้นที่ที่แคบได้ แต่มีข้อจำกัดทางเศรษฐกิจ เนื่องจากก๊าซมีอัตราที่สูง ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง

2.6.3 corona discharge การเกิดพลาสมาในเทคนิคนี้จะมีการปลดปล่อยพลาสมาที่ไม่แข็งแรง โดยรูปทรงของอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นลวดแบบปลายแหลม และอิเล็กโทรดที่แหลมนี้ทำให้สามารถมีศักย์ไฟฟ้าบวกและลบได้ แต่การแตกตัวของเป็นไอออนส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบๆอิเล็กโทรด ทำให้การเกิดพลาสมาอาจจะไม่เท่ากัน นอกจากนี้ข้อจำกัดของการปลดปล่อยแบบโคโรนา คือ การทำงานในพื้นที่ขนาดเล็กและไม่สม่ำเสมอ

2.6.4 microwave discharge การเกิดพลาสมาในเทคนิคนี้เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ โดยไม่ต้องใช้อิเล็กโทรด เป็นการใช้แมกนีตรอน จากนั้นพลาสมาที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกนำไปยังพื้นที่กระบวนการ เมื่อมีก๊าซในกระบวนการ ระบบประเภทนี้ไม่มีอิเล็กโทรดและจัดการได้ง่าย แต่ในการทำงานจำเป็นต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่



ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์การทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ (a) Dielectric barrier discharge (DBD), (b) Jet plasma, (c) corona discharge, (d) microwave discharge

ที่มา: Coutinho (2018)

2.7 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำในอุตสาหกรรมอาหาร

2.7.1 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำต่อปริมาณจุลินทรีย์ในอาหาร

ในปัจจุบันได้มีความสนใจที่จะนำพลาสมาอุณหภูมิต่ำมาใช้ร่วมกับอาหารอย่างหลากหลาย เนื่องจาก ในการใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระจำนวนมากโดยเฉพาะอนุมูลอิสระเช่น ออกซิเจน (reactive oxygen species), ไนโตรเจน (nitrogen species) เป็นต้น ขึ้นกับก๊าซที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ได้ ดังนี้

1. แรงกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสารพอสพอลิปิดและโปรตีนที่แทรกอยู่ในผนังของเยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้เกิดการแตกตัวของสารกลุ่มดังกล่าว ก่อให้เกิดรูภายในเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้ระบบออสโมติกในเซลล์ถูกทำลาย (ลิมสงวน, 2563)

2. การเกิดรูภายในเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลโดยตรงต่อ DNA ทำให้เกิดการปลดปล่อย DNA ของจุลินทรีย์ออกนอกเซลล์ โดยผลของพลาสมาที่มีต่อ DNA ของจุลินทรีย์ เกี่ยวกับการทำงานของอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถสร้าง thymine dimer และ stand break ได้ จึงสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นการจำลองตัวเอง (replication) ทำให้ cold plasma สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารได้ (Coutinho et al., 2018; Moreau et al., 2008)

3. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน สามารถทำปฏิกิริยากับไขมันบนเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดกรดไขมันไม่อิ่มตัว (peroxide) ในขณะที่กรดอะมิโนและกรดนิวคลีอิกจะถูกออกซิไดซ์เป็น 2-oxo-histidine และ 8-hydroxy-2 deoxyguanosine ตามลำดับ โดยลิพิดเป็นแมคโครโมเลกุลที่เปราะบางในเยื่อหุ้มเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของไขมันบนเยื่อหุ้มเซลล์ จึงทำให้เกิดการรั่วไหลของโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้น การทำพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ จากการเกิด lipid peroxidation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และการเกิดออกซิเดชันของกรดอะมิโนและดีเอ็นเอ (Coutinho et al., 2018; Mira & Jo, 2017; Schultz et al., 2004)

Wu และคณะ (2020) ศึกษาการใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำด้วยเทคนิค Dielectric barrier discharge (DBD) กับนม โดยใช้ก๊าซอาร์กอน มีการแปรพลังงาน (0, 40, 50, 60, 70 และ 80 V) และเวลา (0, 15, 30, 60, 90 และ 120s) พบว่า การทำพลาสมาที่ 70 และ 80 V เวลา 120 s พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่น้อยมาก จากการศึกษาด้วย scanning electron microscopy พบการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด คือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, และ *Listeria monocytogenes* นอกจากนี้ พบว่า การเพิ่มพลังงานในพลาสมาอุณหภูมิต่ำ มีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงมากกว่าการใช้พลังงานต่ำกว่า ซึ่งได้ผลที่คล้ายกับการทำ UHT และได้ผลที่ดีกว่าการพาสเจอร์ไรส์

Lee และคณะ (2012) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์บนแผ่นชีสของเชดดาร์ชีส (cheddar cheese) โดยการใช้พลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน ที่ 3.5 kV, 50 kHz เป็นเวลา 1-15 min และศึกษาก๊าซ 2 ชนิด คือ ก๊าซฮีเลียม และก๊าซผสมฮีเลียมและออกซิเจน พบว่า การใช้ก๊าซฮีเลียม มีจำนวนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ลดลงไป 0.09, 0.47, 1.16 และ 1.47 log cycle และ *Staphylococcus aureus* ลดลงไป 0.05-0.45 log cycle และการใช้ก๊าซผสมฮีเลียมและออกซิเจน มีจำนวนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ลดลงไป 0.05, 0.87, 1.89 และ 1.98 log cycle และ *Staphylococcus aureus* ลดลงไป 0.08-0.91 log cycle หลังจากผ่านพลาสมาเป็นเวลา 1, 5, 10 และ 15

ตามลำดับ จากผลข้างต้น พบว่าการเพิ่มออกซิเจนส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อก่อโรคทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่การใช้ก๊าซผสมฮีเลียมและออกซิเจน ทำให้คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีคะแนนต่ำสุด เนื่องจากอนุมูลอิสระของออกซิเจนผลิตผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา lipid oxidation อย่าง hexanal และ malondialdehyde ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในแผ่นชีสที่ผ่านพลาสมาอุณหภูมิต่ำ

Guroi และ คณะ (2012) ศึกษาการใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำด้วยเทคนิค corona discharge ในนมที่ 9 kV เป็นเวลา 0, 3, 6, 9, 12, 15 และ 20 min พบว่า นมที่ผ่านพลาสมาอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 20 นาที จำนวนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ลดลงจากเริ่มต้น 7.78 log CFU/ml เหลือ 3.36 log CFU/ml โดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และค่าสีของนม

2.7.2 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำต่อไขมันในอาหาร

การเกิดอนุมูลอิสระจากการทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ เมื่อนำมาใช้กับอาหารที่มีไขมันสูง อาจเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ โดยจากงานวิจัยของ Sarangapani et al. (2017) พบผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันในขั้นที่ 2 (propagation) ในผลิตภัณฑ์นมหลังจากได้รับพลาสมาอุณหภูมิต่ำ 80 kV เป็นเวลา 30 นาที โดยพบว่าพลังงานและเวลาในการทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ มีผลต่ออัตราการเกิดออกซิเดชัน และการเกิดออกซิเดชันนี้ เกิดผ่านกลไก Criegee mechanism นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Yong, Kim, Park, Kim et al. (2015) พบว่าเวลาในการได้รับพลาสมา เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดออกซิเดชันของไขมัน เนื่องจากค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์ cheddar cheese เพิ่มขึ้น 30% หลังจากการได้รับพลาสมาเพิ่มขึ้น 7.5 นาที คือ ค่า TBARS เพิ่มจาก 0.14 ± 0.02 เป็น 0.18 ± 0.03 เมื่อใช้เวลาในการทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ 2.5 นาที เป็น 10 นาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารจากการได้รับพลาสมาอุณหภูมิต่ำ ก็สามารถป้องกันได้โดยการเติมสารต้านออกซิเดชัน เช่น BHA หรือ สารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น (Gavahian et al., 2018) นอกจากนี้ ยังพบว่านมช็อคโกแลตที่ผ่านการแปรรูปด้วยพลาสมาอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน, อัตราการไหล 10 ml/min เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ขนาดอนุภาคของหยดไขมันในระบบอิมัลชันของนมช็อคโกแลตอยู่ที่ 14 ถึง 87 um ในขณะที่การใช้อัตราการไหล 20 ml/min เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเป็น 17 ถึง 103 um (Coutinho et al., 2019) ซึ่งขนาดอนุภาคเป็นตัวกำหนดความเป็นครีมในนมช็อคโกแลต โดยอนุภาคขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติความเป็นครีมในนม (Ganesan et al., 2019)

2.7.3 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำต่อวิตามินและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหาร

ความไวของวิตามินต่อการแปรรูปอาหารด้วยเทคโนโลยีพลาสมาอุณหภูมิต่ำ เป็นสิ่งสำคัญที่จะรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร จากรายงานของ Ramazzina et al. (2015) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการลดปริมาณแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ในผลไม้กีวี่ที่ตัดแบ่งเป็น 2 ส่วน หลังจากได้รับพลาสมาอุณหภูมิต่ำ 19 V เป็นเวลา 40 นาที (ได้รับพลาสมาข้างละ 20 นาที) นอกจากนี้ พบว่า การใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำในนมช็อคโกแลต ในสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการไหล 20 ml/min, 400 W เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในนมช็อคโกแลตมีในปริมาณที่เหมาะสม แต่การใช้อัตราการไหลและเวลาที่มากและน้อยเกินไป ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง (Coutinho et al., 2019) แต่จากงานวิจัยของ Mehta et al. (2019) พบว่าการใช้เทคโนโลยีพลาสมาอุณหภูมิต่ำ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ในน้ำมะเขือเทศทำให้ปริมาณ

แอสคอบิกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การแปรรูปโดยไม่ผ่านความร้อนอย่างอัลตราโซนิเคชัน (ultrasonication) จาก 363.16 mg/L เป็น 366 mg/L และ 358.11 mg/ml เป็น 362.49 mg/L ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ทั้ง พลาสมาอุณหภูมิต่ำและการแปรรูปโดยไม่ผ่านความร้อนอย่างอัลตราโซนิเคชัน ก็ทำให้ปริมาณแอสคอบิกลดลงจาก น้ำมะเขือเทศพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดอนุมูลอิสระในระหว่างการทำพลาสมา และการเกิดไฮโดรเจน ไอออน, อนุมูลอิสระ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของโมเลกุลน้ำระหว่างการทำอัลตราโซนิเคชัน ดังนั้น การแปรรูป ที่ไม่ใช้ความร้อนโดยวิธีพลาสมาอุณหภูมิต่ำ ทำให้สารอาหารอย่างวิตามินลดลงน้อยกว่าการใช้อัลตราโซนิเคชัน นอกจากนี้ พบว่าปริมาณของแอนโทไซยานิน (anthocyanin), ฟีนอล (phenol) และแทนนิน (tannins) ในไวน์แดง ลดลง เมื่อได้รับการแปรรูปจากพลาสมาอุณหภูมิต่ำ 60 ถึง 120 Hz เป็นเวลา 10 นาที (Lukić et al., 2019) ซึ่งอาจ เกิดมาจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปด้วยพลาสมาอุณหภูมิต่ำ (Ganesan et al., 2019) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำกับน้ำมะเขือเทศกลับทำให้ปริมาณสารในกลุ่มฟีนอลิกเพิ่มขึ้นมากกว่าการแปรรูปด้วย อย่างอัลตราโซนิเคชัน, รังสียูวี และการพาสเจอร์ไรส์เซชัน (Mehta et al., 2019)

2.7.4 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำต่อโปรตีนในอาหาร

โปรตีนหรือเอนไซม์ที่มีในอาหารอาจเกิดการเสียสภาพได้จากการได้รับพลาสมาอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเกิด อันตรกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระในพลาสมากับกรดอะมิโน (Li et al., 2014) หรือโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) เนื่องจากเกิดการสูญเสียโครงสร้าง α -helix และ β -sheet (Segat et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การ เสียสภาพของโปรตีนหรือเอนไซม์ก็ขึ้นกับ ชนิดของโปรตีนและเอนไซม์, ชนิดของก๊าซที่ใช้ในการผลิตพลาสมา, เวลา ในการทำพลาสมา, และปริมาณตัวอย่าง (Attri et al., 2015)

2.7.5 ผลของพลาสมาอุณหภูมิต่ำต่อคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

การใช้พลาสมาอุณหภูมิต่ำร่วมกับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ พบว่าส่งผลให้น้ำตาลรีดิวซ์ ทั้งหมดลดลง เช่น น้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคส (Rodríguez et al., 2017) โดยพบปริมาณน้ำตาลซูโครสมาก ขึ้น เนื่องมาจากมีการย่อยของโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีระดับพอลิเมอร์ไรเซชันในระดับสูง (Almeida et al., 2015) นอกจากนี้ จากงานวิจัยของ Mehta et al. (2019) พบว่าปริมาณของน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสในเครื่องดื่ม น้ำมะเขือเทศ เมื่อผ่านการแปรรูปด้วยวิธีพลาสมาอุณหภูมิต่ำ มีปริมาณไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับการแปรรูปด้วย วิธีอัลตราโซนิเคชัน, รังสียูวี และการพาสเจอร์ไรส์เซชัน

ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีพลาสมาอุณหภูมิต่ำกับอาหารอาจส่งผลต่อคุณภาพของอาหารได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดก๊าซ, พลังงาน, เวลาที่ใช้ในการทำพลาสมาอุณหภูมิต่ำ และองค์ประกอบในอาหารนั้นๆ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

สารละลาย 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, USA)

สารละลายเมทานอลความเข้มข้น 95% (A.R. grade)

สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% (A.R. grade)

สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 99% (A.R. grade)

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% (A.R. grade)

สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 25 % (A.R. grade)

สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 1 % (KemAus, Australia)

สารละลายเอ็น-บิวทานอล (A.R. grade)

สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิมตัว (KemAus, Australia)

สารละลายไดเอทิลอีเทอร์ (A.R. grade)

สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ (A.R. grade)

สารละลายคลอโรฟอร์ม (A.R. grade)

สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (KemAus, Australia)

สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Loba, india)

สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต (KemAus, Australia)

สารละลายโซเดียมอะซิเตต (KemAus, Australia)

สารละลาย tripyridyltriazine (TPTZ) (Srichem, USA)

สารละลาย 2-thiobarbituric acid (Sigma-Aldrich, USA)

3.2 เครื่องมือ

เครื่องชั่ง (E5500-S, Sartorius, Sartorius Mechatronics, Gottingen, Germany)

เครื่อง vortex (VX100, Labnet, Labnet international Inc., Woodbridge, USA)

เครื่อง water bath (SW23, Julabo, JULABO Labortechnik GmbH, Seelbach, Germany)

เครื่อง magnetic stirrer (Steromag, Steroglass S.r.l., Perugia, Italy)

เครื่อง spectrophotometer (Evolution 260 Bio, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)

เครื่อง sonicator (Elmasonic E 70 H, Elma, Germany)

เครื่อง Homogenizer (Ystral GmbH, Ballrechten-Dottingen, Germany)

เครื่อง Chroma Meter (Model CR-300 Series, Minolta, Osaka, Japan)

เครื่อง Rheometer (MCR102, Anton Paar, Austria)

เครื่อง centrifuge (Hettich, EBA 12, Germany)

เครื่อง cold plasma (Module Tsus Febix Foodtech., Thailand)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำได้โดยผสมน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (บริษัท กรุงเทพเคมี, ประเทศไทย) และสารลดแรงตึงผิว Polysorbate 80 (Tween80) (บริษัท กรุงเทพเคมี, ประเทศไทย) โดยใช้สัดส่วนน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ต่อ Tween80 เท่ากับ 1:1(NE1:1), 4:1(NE4:1), 5:1(NE5:1) หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 98%, 95% และ 94% (v/v) ตามลำดับ และผสมกันด้วยเครื่อง Homogenizer (Ystral GmbH, Ballrechten-Dottingen, Germany) เป็นเวลา 15 min หลังจากนั้นนำสารละลายเข้าเครื่อง Sonicator (Elmasonic E 70 H, Elma, Germany) เป็นเวลา 5 min (Campolo et al., 2020) ในระหว่างการดำเนินการลดอุณหภูมิลงที่ 6 ± 2 °C โดยนำภาชนะของตัวอย่างหล่อด้วยน้ำแข็ง และคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ศึกษาขนาดอนุภาคและความเสถียรของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

การวัดขนาดและความเสถียรของอิมัลชัน ใช้เครื่อง Zetasizer (MALVERN Zetasizer Nano ZSP) โดยทำการวัดขนาด (particle size) และการกระจายตัวของอนุภาค (polydispersity index, PDI) และสังเกตการแยกชั้นและการตกตะกอนจากลักษณะทางกายภาพของสารละลายอิมัลชันที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 30 °C ทุก 10 วันจนถึงวันที่ 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.1.2 ศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

นำนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตรมาวัดสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยใช้วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงตามวิธีของ Ruengdech and Siripatrawan (2021) โดยนำตัวอย่างนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาเจือจางด้วยน้ำกลั่น และน้ำมันหอมระเหยวานิลลามาเจือจางด้วยเมทานอล โดยเจือจางไป 500 เท่า การทดสอบ DPPH assay ทำโดยนำตัวอย่างปริมาตร 0.1 ml มาเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.01 mmol/L ปริมาตร 0.9 ml ใส่ในหลอดทดลองและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 min หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, ABS) ด้วย spectrophotometer (Evolution 260 Bio Uv-Visible Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยใช้เมทานอลเป็น blank และคำนวณ %inhibition โดยใช้สมการที่ 1

$$\% \text{ inhibition} = \left(\frac{\text{ASB}_{\text{blank}} - \text{ASB}_{\text{sample}}}{\text{ASB}_{\text{blank}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

สำหรับวิธี FRAP assay เตรียมสารละลาย FRAP reagent เตรียมได้จากการผสม acetate buffer (pH=3.6) ความเข้มข้น 0.3 mol/L, 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 mmol/L ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 mmol/L และสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตความเข้มข้น 20 mmol/L ในอัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นจำนวน 0.15 ml เติมสาร FRAP reagent ที่เตรียมไว้ปริมาณ 2.58 ml ลงในตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, ABS) ด้วย spectrophotometer (Evolution 260 Bio Uv-Visible Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 593 nm โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ (trolox equivalent)

3.3.1.3 ศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

จุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย จุลินทรีย์แกรมบวก (*Bacillus licheniformis* TISTR 013 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) และจุลินทรีย์แกรมลบ (*Escherichia coli* TISTR 073 และ *Salmonella typhimurium* ATCC 13311) จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และจาก American Type Culture Collection ตามลำดับ ก่อนทดสอบเตรียมเชื้อแต่ละสายพันธุ์โดยนำเชื้อจากกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ -80°C 1 ml มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth (TSB) เป็นเวลา 18 h ที่อุณหภูมิ 37°C และนำไป streak plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy agar (TSA) และบ่มเป็นเวลา 24 h ที่อุณหภูมิ 37°C หลังจากนั้น นำโคโลนีเดี่ยวที่ได้เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth (TSB) เป็นเวลา 18 h ที่อุณหภูมิ 37°C และทำการปรับค่า turbidity ของเชื้อเริ่มต้น แต่ละสายพันธุ์ให้ได้ 0.08-0.1 ที่ความยาวคลื่น 600 nm ซึ่งประกอบไปด้วยเชื้อเริ่มต้น $7 \log \text{CFU/mL}$

การศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำโดยการทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimal inhibitory concentration: MIC) และทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC) ดัดแปลงจากวิธีของ Yazgan et al., (2019) และ Chuesiang et al., (2019) โดยนำตัวอย่างนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและน้ำมันหอมระเหยวานิลลามาเจือจางโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy broth (TSB) แบบ two-fold dilutions ให้ได้ความเข้มข้น 20,000 ppm ถึง 5,000 ppm หลังจากนั้นนำเชื้อแต่ละสายพันธุ์ ปริมาตร 1 ml ทดสอบในตัวอย่างนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่เจือจางแต่ละความเข้มข้น (20,000 ppm ถึง 5,000 ppm) และผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 h โดยค่า MIC หาได้จากความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่ำที่สุดที่ทำให้สารละลายในหลอดใส และค่า MBC หาได้โดยนำหลอดที่ไม่ขุ่นจากการทำ MIC ไป streak plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptic soy agar (TSA) จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และค่า MBC คือความเข้มข้นที่ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.3.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในการรักษา

คุณภาพกะทิ

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกะทิที่เติมนานาอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำโดยคั้นน้ำกะทิโดยใช้สัดส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อน้ำ เป็น 3:1 นั่นคือ ชั่งเนื้อมะพร้าว 300 g และใช้น้ำในการคั้นเนื้อมะพร้าวทั้งหมด 100 g โดยมีการควบคุมปริมาณไขมันและปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่าง (Brix) เท่ากับ 17.9-18 % (w/w) และ 7 ° Brix ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ไขมันทำตามวิธีของ Codex Alimentarius. (2003) แล้วนำกะทิสตมาพาสเจอร์ไรส์ที่ 72 ° C เป็นเวลา 15 min ใน water bath ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 50 ° C แล้วเติมนานาอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 3.1 โดยแปรปริมาณเป็น 5%, 10% และ 20% (v/v) ผสมให้เข้ากันโดยใช้ magnetic stirring เป็นเวลา 15 min (Di Maio et al., 2019) ระหว่างการผสมตัวอย่างทำการลดอุณหภูมิให้เป็น 10 ° C โดยนำภาชนะของตัวอย่างหล่อด้วยน้ำแข็ง จากนั้นทำการวัดสมบัติทางกายภาพ, เคมี และทางจุลินทรีย์ ของตัวอย่างระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ° C ทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการเสื่อมเสีย

3.3.2.1 สมบัติทางกายภาพ

3.3.2.1.1 สมบัติเชิงวิทยาการกระแส (rheological properties)

วัดค่า rheological properties ด้วยเครื่อง rotational rheometer (MCR102, Anton Paar, Austria) โดยใช้ parallel plate (เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm, ช่องว่าง 1 mm) และทำการวัดที่ shear rate ระหว่าง 0.1-500 s⁻¹ เป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิระหว่างการวัดอยู่ที่ 25 ° C และใช้ Herschel-Bulkley model ในการแปรผล (Indu et al., 2019) โดยรายงานผลเป็นค่า yield stress (σ) บอกลถึงความเค้นเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการไหลของของเหลว (Pa), consistency coefficient (K) เป็นค่าแสดงถึงความหนืดของตัวอย่างที่อัตราความเค้น (strain rate) เท่ากับ 1 s⁻¹ (Pa·sⁿ) และ flow behavior index (n) เป็นค่าแสดงพฤติกรรมการไหลของของเหลว

3.3.2.1.2 ค่าความคงตัว (stability)

วัดค่าความคงตัวของกะทิ โดยการวัด oiling index (%) และ creaming index (%) ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Onsaard et al. (2005) โดยนำตัวอย่างกะทิ 10 ml ใส่ในหลอดเซนต์ปีวีสขนาด 15 ml ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,000 rpm นาน 5 นาที ในเครื่อง centrifuge (Hettich, EBA 12, Germany) โดยค่า oiling index (%) คำนวณโดยใช้สมการที่ (2) และค่า creaming index (%) คำนวณโดยใช้สมการที่ (3)

$$\text{oiling index (\%)} = \frac{H_o \times 100}{H_E} \quad (2)$$

$$\text{creaming index (\%)} = \frac{H_s \times 100}{H_E} \quad (3)$$

H_o คือ ความสูงของส่วนน้ำมันใส, H_s คือ ความสูงของส่วนใส และ H_E คือ ความสูงทั้งหมดของกะทิในหลอด

3.3.2.1.3 ค่าสี

วัดค่าสีของกะทิที่เติมนาโนอิมัลชันด้วยเครื่องวัดสี Chroma meter (Modal CR-300 Series, Minolta, Osaka, Japan) ระบบ CIELAB โดยใช้ CIE Standard Illuminant D65 มีรูรับแสง (aperture) ขนาด 8 mm และบันทึกค่า L^* บ่งบอกถึงความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว, ค่า a^* บ่งบอกสีจากสีเขียว ($-a^*$) จนถึงสีแดง ($+a^*$) (redness) และค่า b^* บ่งบอกสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$) (yellowness)

3.3.2.2 สมบัติทางเคมี

3.3.2.2.1 สมบัติการต้านออกซิเดชัน

ศึกษาการต้านออกซิเดชันของกะทิที่เติมนาโนอิมัลชันที่ปริมาณแตกต่างกัน โดยนำตัวอย่างมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 50 และ 750 เท่า เพื่อให้ได้ค่าดูดกลืนแสงในช่วงที่สามารถวัดค่าได้ (Ruengdech & Siripatrawan, 2021) จากนั้นนำไปวัดการต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP ตามลำดับ โดยทำเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 3.1.2

3.3.2.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ ใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจาก AOAC (2000) ซึ่งน้ำมันที่สกัดจากกะทิตามมาตรฐานโคเด็กซ์ (Codex Alimentarius, 2003) จำนวน 1 กรัม ใน Erlenmeyer flask จากนั้นเติมสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์ม (ผสมในอัตราส่วน 3:2) ปริมาตร 30 ml ผสมให้เข้ากัน และเติมสารละลายอิมิตัวโพแทสเซียมไอโอดด์ 0.5 ml ทิ้งไว้ 1 min จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 ml ใช้น้ำแข็งเข้มข้น 1% (w/v) เป็นอินดิเคเตอร์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank ทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสี ใช้น้ำแข็งเข้มข้น 1% (w/v) เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์ โดยใช้สมการที่ (4)

$$\text{peroxide value (meq O}_2\text{/kg)} = \frac{V_{a-b} \times N \times 1000}{W_{\text{sample}}} \quad (4)$$

V_{a-b} = ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง - Blank, N = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟตในหน่วยนอร์มอล, W = น้ำหนักของตัวอย่าง

3.3.2.2.3 วัด Thiobarbituric acid (TBA)

การวัด Thiobarbituric acid ทำตามวิธีของ Pegg (2001) เตรียม stock solution ของ 2-thiobarbituric acid โดยชั่ง 2-thiobarbituric acid 0.2 กรัม ละลายใน 1-butanol และปรับปริมาตรเป็น 100 ml การวัดเริ่มจากสกัดน้ำมันออกจากตัวอย่างด้วยวิธีตามมาตรฐานโคเด็กซ์ (CODEX, 2003) และชั่งน้ำมันที่สกัดได้ปริมาณ 50 mg ลงในขวดกำหนดปริมาตร 25 ml และใช้ 1-butanol ในการปรับปริมาตรผสมให้เข้ากัน จากนั้นใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำมันและ 1-butanol 5 ml ผสมกับ 5 ml ของ stock solution ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิ 95 °C ใน water bath เป็นเวลา 2 h จากนั้นลดอุณหภูมิให้เป็น 30 °C ด้วยน้ำแข็ง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 nm และใช้ stock solution เป็น blank คำนวณค่า TBA โดยใช้สมการที่ 5

$$\text{TBA (mg}^{-1}\text{)} = \frac{50 \times A_{532}}{W_{\text{sample}}} \quad (5)$$

A_{532} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 nm, W_{sample} = น้ำหนักของน้ำมัน

3.3.2.3 ศึกษาองค์ประกอบสารระเหยของกะทิจากต้นไม้มัลชัน

การศึกษาสารระเหยในกะทิจากต้นไม้มัลชัน ทำการวัดตัวอย่าง ดังต่อไปนี้ คือ กะทิสดที่เต็มและไม่เต็ม นานาโอมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา, กะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เต็มและไม่เต็ม นานาโอมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา, กะทิสดและกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เต็ม นานาโอมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและผ่านพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน ทำตามวิธีของ Wang et al. (2020) โดยใช้เทคนิค Headspace Solid Phase Microextraction, (HS-SPME) เก็บสารประกอบที่ระเหยง่ายโดยโดยใช้ไฟเบอร์ 50/30 μm Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS), Stableflex 23 Ga (Supelco, 57348-U, USA) ทำโดยการนำตัวอย่างกะทิ 3 ml ใส่ใน glass vial ขนาด 20 ml และเติมโซเดียมคลอไรด์ 30 % (w/w) เพื่อทำให้เกิดความอึดตัวและความสม่ำเสมอของตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างกะทิจที่อุณหภูมิ -30 °C และนำตัวอย่างละลายที่อุณหภูมิ 4 °C ใช้ SPEME เพื่อเก็บตัวอย่างสารที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 40 min แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography/Mass Spectrometer, GC/MS) โดยใช้แก๊สฮีเลียม ความบริสุทธิ์ 99.9999% โดยส่วนของแก๊สโครมาโทกราฟี (Agilent technologies, 7890A, USA) ประกอบด้วยอุณหภูมิส่วนที่ฉีดสาร (injection port) 270 °C นาน 30 min และใช้คอลัมน์ชนิด DB-5MS capillary column (Agilent, 122-5532UI, USA) 30 m \times 0.25 mm, ความหนาของฟิล์ม 0.25 μm และคอลัมน์จะตั้งโปรแกรมโดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 °C จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 °C ต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 170 °C ส่วนของแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Agilent, 5977B, USA) เป็นแบบ Quadrupole และอุณหภูมิของ Ion Source เป็น 280 °C ในระบบ Electron Impact Ionization (EI) ที่ 70 eV โดยสแกนมวล (m/z) ช่วง 50 ถึง 550 amu (Atomic Mass Unit) การศึกษาเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกะทิ โดยเปรียบเทียบแมสสเปกตรัมกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานใน NIST2011 Library ในรูปแบบร้อยละความเหมือนของแมสสเปกตรัม (%Qual)

3.3.2.4 การวัดปริมาณจุลินทรีย์

3.3.2.4.1 วัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count)

การวัดปริมาณจุลินทรีย์ใช้วิธี pour plate method ทำตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (2001) ทำโดยเจือจางตัวอย่างแบบ serial ten-fold dilution ด้วย peptone water 0.1% และปิเปตตัวอย่างที่เจือจางมา 1 ml ใส่ใน peptone water 9 ml เขย่าให้เข้ากัน ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้ตัวอย่างที่เจือจางตามที่ต้องการ จากนั้นปิเปตตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ 1 ml ลงในจานเพาะเชื้อ และเท PCA (plate count agar) ที่อุณหภูมิ 45-50 °C ลงในจานเพาะเชื้อ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วพลิกจานเพาะเชื้ออีกด้านหนึ่งขึ้น และบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 h จากนั้นนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี และรายงานผลเป็น log (CFU/ml)

3.3.2.4.2 วัดปริมาณ *coliform* และ *E.coli*

การวัดปริมาณ *coliform* และ *E.coli* ทำโดยใช้อาหารสำเร็จรูป 3M™ Petrifilm™ E.coli/Coliform Count Plate (3M company, MN, USA)

3.3.2.4.3 วัดปริมาณยีสต์และรา

การวัดปริมาณยีสต์และรา ทำตามวิธีของ Bacteriological Analytical Manual (2001) โดยเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.1 จากนั้นปิเปตตัวอย่างที่เจือจางที่ระดับความเข้มข้นที่ต้องการมา 0.1 ml ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC (Dichloran rose Bengal chloramphenicol) ชนิดแข็ง และใช้แท่งแก้วอเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าของวุ้นแห้ง แล้วพลิกจานเพาะเชื้อให้ฝาอยู่ด้านล่างขึ้น และบ่มที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 5 วัน ถ้าไม่มีการเจริญของเชื้อให้บ่มต่ออีก 48 h จากนั้นนับจำนวนโคโลนีที่ระดับความเจือจางที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี

3.3.3 ศึกษาผลของการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนต่อคุณภาพของกะทิที่ผ่านและไม่ผ่านพาสเจอร์ไรส์เชชันที่เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

นำปริมาณที่เหมาะสมของนาโนอิมัลชันจากการทดลองตอนที่ 3.2 เติมลงในกะทิพาสเจอร์ไรส์และไม่พาสเจอร์ไรส์ ผสมให้เข้ากันโดยใช้ magnetic stirring เป็นเวลา 15 นาที (Di Maio et al., 2019) ระหว่างนั้นทำการหล่อด้วยน้ำแข็งล้อมรอบภาชนะ จากนั้นนำไปผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนของก๊าซอาร์กอน ใช้โวลต์เท่ากับ 10 kV และความถี่ 12.5 kHz เป็นเวลา 5 min จากนั้นทำการวัดสมบัติทางกายภาพ, เคมี และทางจุลินทรีย์ ตามการทดลองข้อ 3.2 ทุกๆ 5 วัน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการเสื่อมเสีย ตามการทดลองตอนที่ 3.2 โดยมีกะทิพาสเจอร์ไรส์และไม่พาสเจอร์ไรส์ เป็นตัวอย่างควบคุม

3.3.4 การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบสมมติทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ในหัวข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3 ออกแบบการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Analysis of variance : ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's Least-Significant Difference : LSD ประมวลผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 22 (SPSS Inc., Chicago, USA)



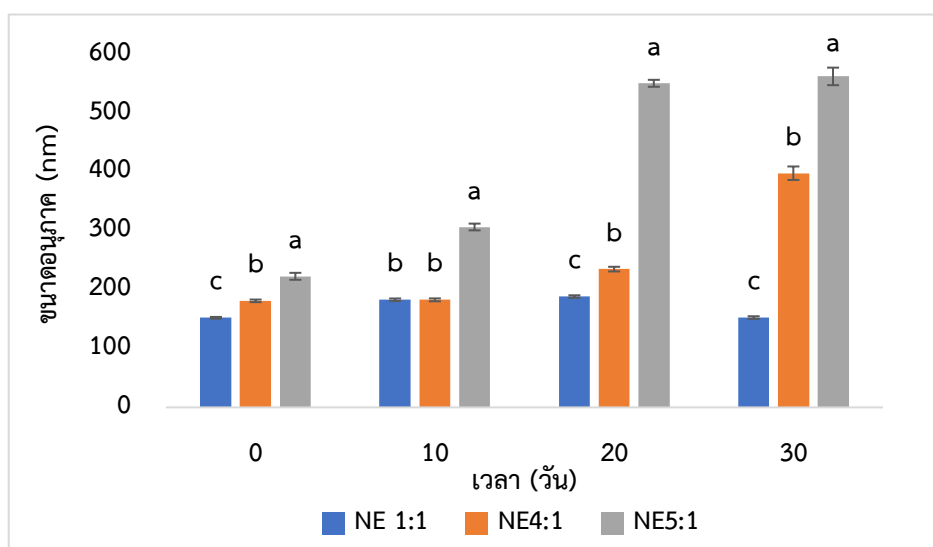
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

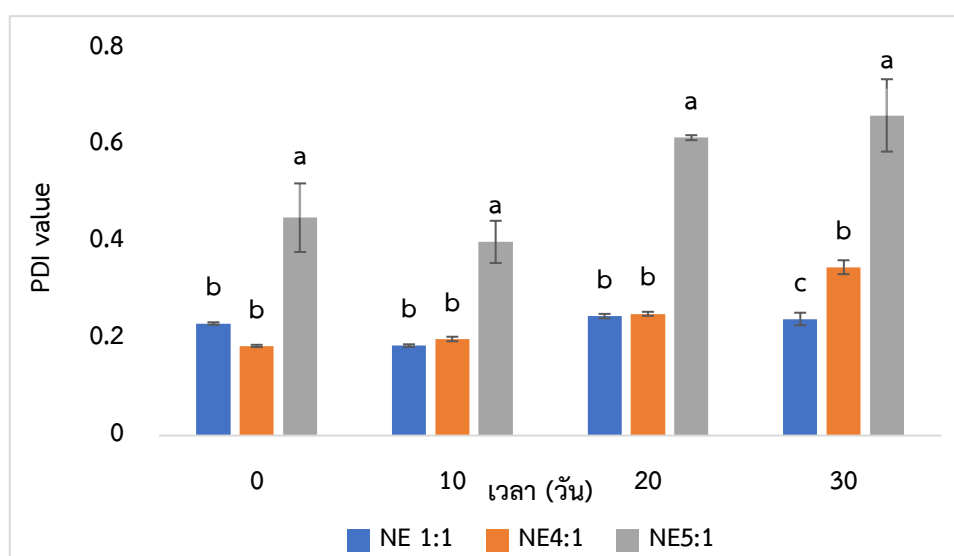
4.1.1 สมบัติทางกายภาพของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร ที่มีอัตราส่วนของน้ำมันต่อTween80 แตกต่างกัน (NE1:1, NE4:1, และ NE5:1) โดยการวัดขนาด, และการกระจายตัวของนาโนอิมัลชัน พบว่า แต่ละสูตรมีขนาดอนุภาคและค่าการกระจายตัวที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ในวันแรกของการเก็บรักษา NE1:1 (152.50 ± 1.47 nm) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า NE4:1 (181.30 ± 2.22 nm) และ NE5:1 (223.10 ± 5.92 nm) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทั้ง 3 ตัวอย่างมีขนาดต่ำกว่า 500 nm ตามงานวิจัยของ Gupta et al. (2016) และ Jaiswal et al. (2015) ที่รายงานขนาดของนาโนอิมัลชันอยู่ในช่วง 20-500 nm และ 20-600 nm ตามลำดับ ขนาดอนุภาคของทั้ง 3 ตัวอย่างเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดย NE4:1 และ NE5:1 มีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเป็น 398.40 ± 11.48 nm และ 563.10 ± 14.93 nm ตามลำดับ ในขณะที่ ตัวอย่าง NE1:1 มีขนาดอนุภาคลดลงเป็น 152.87 ± 2.21 nm ในวันที่ 30 เมื่อเทียบกับวันที่ 10 และ 20 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ออกซิเจนสามารถเพิ่มความชื้นของกรดไขมัน หรือเปลี่ยนโมเลกุลที่ละลายในน้ำมันเป็นโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ (Anwar, 2015) เมื่อหยดไขมันมีส่วนที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวบางส่วนละลายน้ำได้ จึงอาจทำให้ขนาดของอนุภาคลดลง โดยตัวอย่าง NE1:1 ไม่เกิดการแยกชั้นของนาโนอิมัลชัน ในระหว่างการเก็บเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C เมื่อสังเกตจากลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่า



ภาพที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อ Tween80 แตกต่างกัน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 30 วัน โดย a,b,c บอกถึงตัวอย่างมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

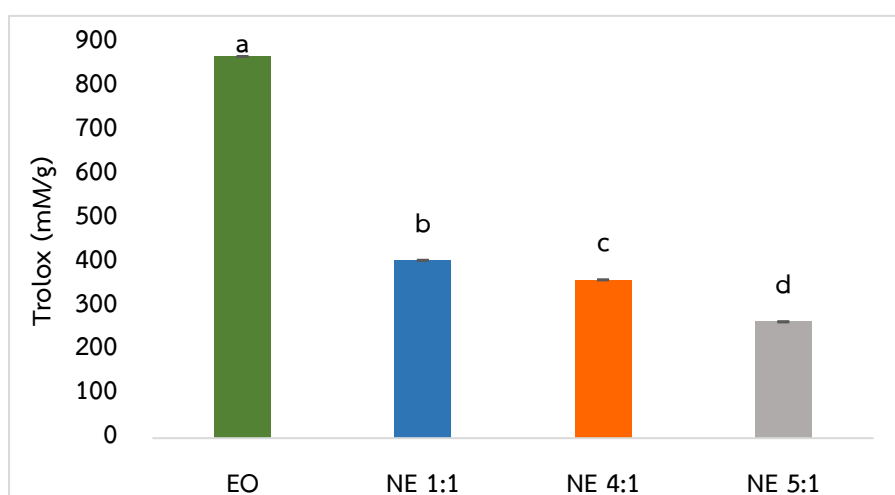
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการกระจายตัวของอนุภาคของตัวอย่างเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C นาน 30 วัน พบว่า NE1:1(0.23±0.00) และ NE4:1(0.18±0.00) มีค่า PDI ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และมีค่าน้อยกว่า NE5:1(0.45±0.07) ในวันแรกของการเก็บรักษา โดยพบว่า NE5:1 มีแยกชั้นของนาโนอิมัลชันตั้งแต่วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับค่า PDI ที่สูง ซึ่งนาโนอิมัลชันที่ดีควรมีค่า PDI อยู่ในช่วง 0.1-0.4 (Ardani et al., 2017) เนื่องจาก PDI ที่สูง แสดงถึงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในนาโนอิมัลชันไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดการดึงดูดของอนุภาคขนาดเล็กไปสู่อนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจาก หยตไขมันขนาดเล็กมีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าจึงเคลื่อนที่โดยมีน้ำเป็นตัวกลางไปยังหยตไขมันขนาดใหญ่ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Ostwald ripening (Tadros et al., 2004) โดยทำให้หยตไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการเกิดการแยกชั้นเร็วขึ้นได้ นอกจากนี้ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของนาโนอิมัลชัน ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบด้วย โดยพบว่าสัดส่วนระหว่าง Tween80 และน้ำมันหอมระเหยโกลด์ฟาล์มพา (artemisia) 5:15 ซึ่งมีขนาด 116 nm ถึง 128 nm เมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน ซึ่งแตกต่างจากนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา แม้ว่าจะใช้วิธีการทำที่เหมือนกัน, เวลาในการทำนาโนอิมัลชันที่เท่ากัน และใช้สารให้ความคงตัวที่เหมือนกัน (Campolo et al., 2020) เนื่องจากขนาดและการกระจายตัวของนาโนอิมัลชัน ขึ้นกับ หลายปัจจัย เช่น ชนิดของน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบ และสัดส่วนระหว่างน้ำมันหอมระเหยและสารให้ความคงตัว (Durmus, 2020) เป็นต้น โดยขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชัน ส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของนาโนอิมัลชัน เช่น สมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชัน และสมบัติการต้านจุลินทรีย์ จึงได้ศึกษาสมบัติเหล่านี้ ในหัวข้อที่ 4.1.2 และ 4.1.3



ภาพที่ 4.2 ค่าการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อ Tween80 แตกต่างกัน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ° C เป็นเวลา 30 วัน โดย a,b,c บอถึงตัวอย่างมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

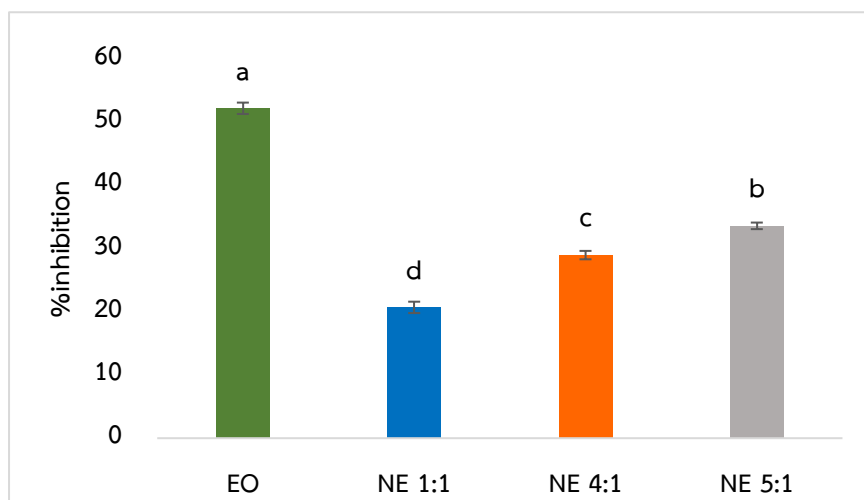
4.1.2 สมบัติการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

ในการศึกษาการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำโดยเปรียบเทียบนาโนอิมัลชันทั้ง 3 สูตร กับน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ด้วยวิธี FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) assay ซึ่งเป็นการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าค่า FRAP value ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลามีค่าสูงที่สุดคือ 868.48 ± 0.72 mM/g เมื่อเปรียบเทียบกับนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา เนื่องจากจากการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมบัติการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันทั้ง 3 ตัวอย่าง จึงไม่ได้มีการปรับปริมาณของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาให้เท่ากับปริมาณที่มีในนาโนอิมัลชันแต่ละสูตร ทำให้น้ำมันหอมระเหยวานิลลามีค่า FRAP สูงที่สุด และพบว่า NE1:1, NE4:1 และ NE5:1 มีค่า FRAP เท่ากับ 404.69 ± 1.24 mM/g, 360.25 ± 1.24 mM/g และ 264.77 ± 1.43 mM/g ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.3 โดยแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า NE1:1 มีค่าสูงกว่า NE4:1 และ NE5:1 เนื่องจากขนาดของ NE1:1 มีขนาดเล็กที่สุด ทำให้พื้นที่ผิวของหยดไขมันสูงขึ้น ทำให้การนำส่งสาร (derivery) สำคัญในน้ำมันหอมระเหยวานิลลาดีขึ้น (Zorzi et al., 2016) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ทั้งน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชัน มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ Shyamala. (2007) ได้รายงานไว้ วานิลลา มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมาจากสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในวานิลลาอย่าง 4-hydroxy-3-methoxybenzyl alcohol, vanillic acid, 4-hydroxybenzyl alcohol, 4-hydroxybenzaldehyde และ vanillin ซึ่งมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ผ่านกลไกการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ ดังนั้น วานิลลา จึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาถูกโฆจากการเกิดออกซิเดชันได้



ภาพที่ 4.3 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อ Tween80 แตกต่างกัน โดย a,b,c แสดงตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งเป็นการวัดสมบัติในการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา โดยรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ พบว่าน้ำมันหอมระเหยวานิลลามี % inhibition สูงที่สุด เมื่อเทียบกับนาโนอิมัลชัน เนื่องจาก ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในนาโนอิมัลชันมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันหอมระเหยวานิลลา แม้ว่าการวัดด้วยวิธี DPPH อาจมีข้อจำกัดจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระของ DPPH กับ สารประกอบฟีนอลบางชนิดที่มีในวานิลลา ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ แต่อาจจะส่งผลน้อยมากในระบบที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาสูง และพบว่า นาโนอิมัลชัน NE1:1, NE4:1 และ NE5:1 มีค่า % inhibition เท่ากับ 20.72 ± 0.9 %, 30.33 ± 0.67 % และ 33.63 ± 0.52 % ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.4 ซึ่งมีแนวโน้มที่แตกต่างจากการวัดโดยวิธี FRAP assay อาจเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระของ DPPH กับ สารประกอบฟีนอลบางชนิดที่มีในน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ เช่น ยูจีนอล และอนุพันธ์ของยูจีนอลอย่างสารวานิลลิน (Almeida., 2011) เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เสถียรในการเกิด resonance ทั้งโมเลกุล ทำให้ไม่สามารถผลิตโมเลกุล bi-quinonoid จึงเกิด delocalization และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นอนุมูลอิสระ DPPH ส่งผลให้การวัดฤทธิ์การต้านออกซิเดชันไม่แสดงในการทดสอบวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (Bondet et al., 1997) นอกจากนี้ ยังอาจเป็นเพราะ สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยวานิลลา มีกลไกในการต้านออกซิเดชันผ่านการให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า (Shyamala., 2007) จึงเป็นเหตุผลให้การวัดสมบัติการต้านออกซิเดชันไม่แสดงในการทดสอบด้วยวิธี DPPH ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tai et al. (2011) ที่ทำการประเมินสมบัติการต้านออกซิเดชันของวานิลลิน พบว่า วานิลลินแสดงฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันดีกว่าแอสคอร์บิกแอซิด (ascorbic acid) และโทรลอกซ์ (Trolox) ในการทดสอบ ABTS•+-scavenging assay ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกับวิธี FRAP assay แต่ไม่แสดงฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในการทดสอบวิเคราะห์การจับอนุมูลอิสระของ DPPH assay แต่การที่น้ำมันหอมระเหยวานิลลา (control) ยังคงมีปริมาณของการต้านออกซิเดชันที่สูง เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูง แม้ว่าจะมีสารฟีนอลบางตัวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ แต่ก็อาจจะไม่มีผลต่อค่าการต้านออกซิเดชัน เนื่องจากยังคงมีปริมาณสารอื่นที่ทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมได้ และไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับกับอนุมูลอิสระของ DPPH



ภาพที่ 4.4 %inhibition ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อ Tween80 แตกต่างกัน โดย a,b,c แสดงตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.3 สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

4.1.3.1 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimal inhibitory concentration: MIC)

ตามกำหนดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) ได้กำหนดไม่ให้มีจุลินทรีย์ก่อโรค (foodborne pathogens) ต่อไปนี้ คือ *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค นอกจากนี้ จุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการเน่าเสีย (food spoilage) ของกะทิ ได้แก่ *Bacillus licheniformis* (Phattayakorn & Wanchaitanawong, 2009) ดังนั้น จึงเลือกจุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์ เพื่อเป็นจุลินทรีย์บ่งชี้ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในกะทิ จากผลการทดลองการหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 4 สายพันธุ์ พบว่า NE1:1 มีความเข้มข้นในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์ เท่ากับ 10,000 ppm ซึ่งน้อยกว่า NE4:1, NE5:1 และน้ำมันหอมระเหยวานิลลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องจาก NE1:1 มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าสูตรอื่นๆ ทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าเข้าไปภายในเยื่อหุ้มจุลินทรีย์ได้ดีกว่า โดยส่วนที่ละลายน้ำของนาโนอิมัลชันจะเข้าไปทางช่องโปรตีนบนเยื่อหุ้มเซลล์ และปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีวานิลลิน มีผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มแบคทีเรีย (Holetz et al., 2002) ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารสำคัญภายในเซลล์แบคทีเรีย และส่วนที่ไม่ละลายน้ำของน้ำมันจะไปทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของฟอสโฟลิปิด (phospholipid bilayer) โดยการแทรกแซงโนโปรตีนที่อยู่ในฟอสโฟลิปิด ส่งผลทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของสารเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย นำไปสู่การรั่วไหลของกรด

นิวคลีอิก, โปรตีน และโพแทสเซียมไอออนภายในเยื่อหุ้มเซลล์ และทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ตายในที่สุด นอกจากนี้ จะพบว่าทั้งน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา มีความเข้มข้นที่สามารถยับยั้ง จุลินทรีย์แกรมบวกและแกรมลบได้เท่ากัน แม้ว่าจะมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยผนังเซลล์ของ แบคทีเรียแกรมบวก ประกอบด้วยเพปติโดไกลแคน ในขณะที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ มีความซับซ้อน มากกว่าโดยมีชั้นเปปติโดไกลแคนที่บางกว่าและเยื่อหุ้มชั้นนอกซึ่งประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดสองชั้น ทั้งนี้โมเลกุลที่ ชอบน้ำสามารถซึมผ่านชั้นเปปติโดไกลแคนที่ไม่ซับซ้อนของแบคทีเรียแกรมบวก ได้อย่างง่ายดาย ในขณะที่การซึม ผ่านเมมเบรนด้านนอกเข้าถึงเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ เกิดขึ้นได้อย่างจำกัด แต่ด้วยขนาดอนุภาคนาโน อิมัลชันที่เล็กและการสัมผัสของกลุ่มที่ชอบน้ำของโมเลกุลอิมัลชันไฟเออร์สามารถขนส่งผ่านช่องโปรตีนของเยื่อหุ้ม ชั้นนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Donsi & Ferrari, 2016)

ตารางที่ 4.1 Minimal inhibitory concentration (ppm) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันน้ำมัน หอมระเหยวานิลลา

สายพันธุ์ของ จุลินทรีย์	น้ำมันหอมระเหยวา นิลลา	NE 1:1	NE 4:1	NE 5:1
<i>E.coli</i>	20,000 ^a	10,000 ^b	20,000 ^a	20,000 ^a
<i>S.aures</i>	20,000 ^a	10,000 ^b	20,000 ^a	20,000 ^a
<i>S. typhimurium</i>	20,000 ^a	10,000 ^b	20,000 ^a	20,000 ^a
<i>B. licheniformis</i>	20,000 ^a	10,000 ^b	20,000 ^a	20,000 ^a

*a,b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.3.2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC)

จากผลการทดลองการหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ได้ พบว่า น้ำมันหอมระเหยวานิลลา, NE4:1 และ NE5:1 มีความเข้มข้นที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ *E.coli*, *S. thimurium* และ *S.aures* ได้เท่ากัน คือ 20,000 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ในขณะที่ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าจุลินทรีย์ *B. licheniformis* ของทั้ง 3 สูตร (น้ำมันหอมระเหยวานิลลา, NE4:1 และ NE5:1) อยู่ที่ > 20,000 ppm แม้ว่า *S.aures* และ *B. licheniformis* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกเหมือนกัน แต่เนื่องจากประสิทธิภาพในการฆ่าจุลินทรีย์ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สารประกอบในน้ำมันหอมระเหย, สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ทดสอบ, องค์ประกอบและขนาดของนาโนอิมัลชัน (Donsi & Ferrari, 2016) โดยน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีสาร

ต้านจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน และสารเหล่านั้นอาจมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ NE1:1 มีความสามารถในการฆ่าจุลินทรีย์ทั้งสี่สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบได้ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 Minimal bactericidal concentration (ppm) ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

สายพันธุ์ของจุลินทรีย์	น้ำมันหอมระเหยวานิลลา	NE 1:1	NE 4:1	NE 5:1
<i>E.coli</i>	20,000	10,000	20,000	20,000
<i>S.aures</i>	20,000	10,000	20,000	20,000
<i>S. typhimurium</i>	20,000	10,000	20,000	20,000
<i>B. licheniformis</i>	>20,000	10,000	>20,000	>20,000

เมื่อพิจารณาผลของขนาดอนุภาค, การกระจายตัวของอนุภาค, สมบัติการต้านออกซิเดชัน และ สมบัติการต้านจุลินทรีย์ พบว่า NE1:1 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด จึงเลือก NE1:1 มาใช้ในการศึกษาผลของการใช้นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในการยืดอายุการเก็บของกะทิพาสเจอร์ไรส์ ในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 ผลของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อคุณภาพและอายุการเก็บของกะทิพาสเจอร์ไรส์

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการรักษาคุณภาพของกะทิพาสเจอร์ไรส์โดยใช้นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา โดยแปรปริมาณนาโนอิมัลชันที่เติมลงในกะทิและติดตามคุณภาพของกะทิในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

4.2.1.1 การวัดสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties)

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกะทิที่เติมนาโนอิมัลชัน โดยแปรปริมาณนาโนอิมัลชันที่เติมลงในกะทิเป็น 5%, 10% และ 20%(v/v) จากการวัดสมบัติเชิงวิทยากระแส (rheology properties) ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) ที่ $0.1-500 \text{ s}^{-1}$ โดยการใช้โมเดลของ Herschel-Bulkely ($\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (CP+NE) ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ทุกสูตรมีค่า yield stress เพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C กะทิเกิดการ

รวมตัวกันของอนุภาค และนำไปสู่การแยกชั้นในกะทิ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้มีค่า yield stress ที่เพิ่มขึ้น (Indu et al., 2019)

เมื่อพิจารณา ค่าดัชนีความข้นเหลว (consistency index; K) ซึ่งเป็น ตัวเลขบอกความข้นเหลวที่เท่ากับ ความหนืดที่ s^{-1} ดังนั้นค่า K จึงบอกถึงแนวโน้มของความหนืด โดยพบว่า ในวันที่ 0 ตัวอย่าง CP มีค่า K เท่ากับ $16.55 \text{ mPa}\cdot\text{s}^n$ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lu et al. (2019) ที่รายงานค่าดัชนีความข้นเหลวของกะทิที่ผ่านการให้ความร้อนอยู่ที่ $22.50 \text{ mPa}\cdot\text{s}^n$ และทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของค่า K ที่ลดลง ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคที่เพิ่มขึ้น นำไปสู่การรวมกันของอนุภาค อนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นจนเกิดการแยกชั้นของกะทิ และทำให้มีของเหลวใสมากขึ้น ส่งผลให้มีความหนืดที่ลดลง (Simuang et al., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Pal (1996) พบว่า พารามิเตอร์ของการวัดสมบัติการไหลอย่างค่าความหนืดของอิมัลชันจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของขนาดอนุภาคที่ลดลง

ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ทุกตัวอย่างมีค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index; n) น้อยกว่า 1 ซึ่งบ่งบอกว่ามีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic behavior เช่นเดียวกับรายงานของ Indu et al. (2019) และ Simuang et al. (2004) ที่รายงานว่ากะทิมีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic behavior และจากการทดลอง พบว่าการเติมนานอิมัลชัน ไม่ทำให้กะทิมีการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการไหล ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม การเติมนานอิมัลชันก็ส่งผลให้มีค่า n ที่สูงขึ้น มากกว่า CP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก นานอิมัลชันที่มีปริมาณน้ำมันที่ไม่สูงมาก จะมีพฤติกรรมการไหลแบบ non-pseudoplastic behavior นั่นคือ ค่า n มากกว่า 1 (Nejatian & Abbasi, 2019) และพบว่าทุกตัวอย่างมีค่า n เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างที่มีการเติมนานอิมัลชัน เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการไหล นั่นคือ CP+NE10% และ CP+NE20% มีค่า n เท่ากับ 1.00 และ 1.06 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 บ่งบอกว่าเป็น non-pseudoplastic behavior ในขณะที่ CP ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหล โดยมีค่า n อยู่ระหว่าง 0.86-0.95 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 20 วัน การที่ค่า n ของตัวอย่างที่เติมนานอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากค่า K มีค่าลดลง คือมีความหนืดลดลง จึงมีแนวโน้มเข้าใกล้พฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian มากขึ้น (Logaraj et al., 2008) นอกจากนี้ R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.996-0.999 แสดงให้เห็นว่า การใช้โมเดลของ Herschel-Bulkely เป็นโมเดลที่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการทดลองในช่วงอัตราเฉือนที่ทดสอบ (Ariffin et al., 2016)

จะพบว่า จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติการไหลที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายได้จากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคในกะทิ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดการแยกชั้นน้ำมันและการแยกชั้นครีม ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 4.2.1.2

ตารางที่ 4.3 แสดงพารามิเตอร์ของสมบัติเชิงวิทยาการกระแส (rheology properties) ระหว่าง $0.1-500 \text{ s}^{-1}$ ของอัตราเฉือน (shear rate) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C โดย σ คือ yield stress (Pa), K คือ consistency coefficient ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n คือ flow behavior index และ R^2 คือ coefficient of determination

พารามิเตอร์	เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
σ (m·Pa)	0	0.24 ^{Cd} ±0.00	9.41 ^{Eb} ±0.00	6.41 ^{Dc} ±0.00	12.46 ^{Ca} ±0.00
	5	0.37 ^{Cd} ±0.00	17.16 ^{Db} ±0.00	7.77 ^{Dc} ±0.00	14.92 ^{Ca} ±0.00
	10	2.41 ^{Cd} ±0.00	27.35 ^{Ca} ±0.00	11.21 ^{Cc} ±0.00	16.10 ^{Cb} ±0.00
	15	20.92 ^{Bb} ±0.00	43.50 ^{Ba} ±0.00	23.77 ^{Bb} ±0.00	44.07 ^{Ba} ±0.00
	20	39.13 ^{Ac} ±0.00	67.28 ^{Ab} ±0.00	31.65 ^{Ad} ±0.00	74.57 ^{Aa} ±0.00
K (mPa·s ¹)	0	16.55 ^{Ac} ±0.00	9.24 ^{Ad} ±0.00	24.69 ^{Ab} ±0.00	65.95 ^{Aa} ±0.00
	5	14.79 ^{Aa} ±0.00	5.66 ^{Bc} ±0.00	9.91 ^{Bb} ±0.00	12.24 ^{Bab} ±0.00
	10	14.07 ^{ABa} ±0.00	5.34 ^{Bc} ±0.00	7.48 ^{Cb} ±0.00	3.85 ^{Cd} ±0.00
	15	13.41 ^{BCa} ±0.00	5.14 ^{Bb} ±0.00	4.40 ^{Db} ±0.00	3.50 ^{Cb} ±0.00
	20	11.22 ^{BCa} ±0.00	4.73 ^{Bb} ±0.00	2.74 ^{Dc} ±0.00	1.88 ^{Cc} ±0.00
n (-)	0	0.86 ^{Bb} ±0.01	0.92 ^{Ca} ±0.01	0.89 ^{Cab} ±0.00	0.92 ^{Ca} ±0.02
	5	0.86 ^{Bc} ±0.03	0.99 ^{ABb} ±0.01	1.00 ^{ABCb} ±0.00	1.06 ^{ABa} ±0.05
	10	0.86 ^{Bc} ±0.01	0.97 ^{Bb} ±0.03	0.94 ^{BCb} ±0.04	1.01 ^{BCa} ±0.05
	15	0.87 ^{Bb} ±0.02	1.00 ^{ABa} ±0.02	1.07 ^{Aa} ±0.02	1.04 ^{Aa} ±0.10
	20	0.95 ^{Aa} ±0.05	1.01 ^{Aa} ±0.02	1.04 ^{ABa} ±0.13	1.05 ^{ABa} ±0.03
R ²	0	0.998	0.998	0.997	0.997
	5	0.998	0.997	0.998	0.998
	10	0.996	0.993	0.997	0.998
	15	0.998	0.999	0.996	0.999
	20	0.995	0.997	0.998	0.998

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

4.2.1.2 ความคงตัวของกะทิที่เติมนานอิมัลชัน

ค่า % oiling index และ % creaming index ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่ปริมาณ 5, 10 และ 20% (v/v) ซึ่งแสดงถึงการแยกชั้นน้ำมันและการแยกชั้นครีม แสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.4 ค่า % oiling index ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่าง

การเก็บที่อุณหภูมิ 4 ° C

เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
0	0.00 ^{Da} ± 0.00	0.00 ^{Da} ± 0.00	0.00 ^{Ca} ± 0.00	0.00 ^{Da} ± 0.00
5	16.54 ^{Cab} ± 3.00	17.97 ^{Ca} ± 1.78	18.75 ^{Ba} ± 0.50	13.65 ^{Cb} ± 0.62
10	22.41 ^{Ba} ± 1.96	18.79 ^{Ca} ± 2.71	18.81 ^{Ba} ± 1.32	19.70 ^{Ba} ± 2.62
15	33.38 ^{Aa} ± 1.59	32.88 ^{Ba} ± 1.84	29.67 ^{Ab} ± 0.97	26.87 ^{Ac} ± 0.68
20	37.78 ^{Aa} ± 3.85	36.94 ^{Aa} ± 1.00	29.52 ^{Ab} ± 1.10	28.96 ^{Ab} ± 1.59

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ทุกตัวอย่างไม่มีการแยกชั้นของน้ำมัน เนื่องจากกะทิสามารถคงตัวอยู่ได้ในระยะหนึ่ง (5-10 h) โดยมีโปรตีน (โกลบูลินกับแอลบูมิน) ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเซอร์ตามธรรมชาติ ดังนั้น จึงไม่เกิดการแยกชั้นน้ำมันเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามอิมัลซิไฟเซอร์ที่มีอยู่ในระบบ หากมีปริมาณเริ่มต้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดความคงตัว กะทิจึงเกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ ภายใน 24 h (Escueta, 1980; Indu et al., 2019; Tangsuphoom & Coupland, 2005) ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป % oiling index ของทุกตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอนุภาคของไขมันในกะทิเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น จนเกิดการแยกชั้นของน้ำมันลอยตัวอยู่ด้านบน นอกจากนี้ การนำกะทิมาให้ความร้อน ทำ โกลบูลินกับแอลบูมินในกะทิ ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเซอร์ตามธรรมชาติเกิดการเสียสภาพ ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันได้ (Indu et al., 2019) และพบว่า การเติมนานอิมัลชันมีผลต่อการลดค่า % oiling index โดยในวันที่ 15 และ 20 ของการเก็บรักษา ตัวอย่าง CP+NE10% และ CP+NE20% มีค่า % oiling index ที่น้อยกว่า CP และ CP+NE5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจาก การเติมนานอิมัลชันลงไปเพียง 5% (v/v) อาจไม่เพียงพอที่จะไปช่วยห่อหุ้มหยดไขมัน เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ (Miller, 2016) แต่การเพิ่มปริมาณนาโนอิมัลชันเป็น 10% และ 20% (v/v) ทำให้มีปริมาณอิมัลซิไฟเซอร์ในกะทิที่มากกว่า จึงมีค่า % oiling index ต่ำกว่า CP และ CP+NE5% ตลอดระยะเวลาการเก็บ อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บรักษากะทิไว้นานขึ้น % oiling index ของทุกตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อเวลาผ่านไป อนุภาคน้ำมันเกิดการรวมตัวกันมากขึ้น จากการมีขนาดอนุภาคไม่เท่ากัน เกิดการดึงดูดจากหยดน้ำมันขนาดเล็กสู่หยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่ออนุภาคน้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้น จะเกิดการลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้า จนแยกออกเป็นชั้นของน้ำมัน (McClements, 2007)

ตารางที่ 4.5 ค่า % creaming index ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 ° C

เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
0	66.11 ^{Ba} ± 0.96	57.44 ^{Bb} ± 2.43	68.83 ^{Aa} ± 4.50	70.78 ^{Aa} ± 2.34
5	66.14 ^{Ba} ± 3.44	59.22 ^{Bb} ± 3.73	68.67 ^{Aa} ± 3.50	69.73 ^{Aa} ± 1.63
10	67.22 ^{ABab} ± 2.54	59.39 ^{Bc} ± 0.52	70.33 ^{Aa} ± 0.97	65.15 ^{Bb} ± 2.62
15	68.28 ^{ABb} ± 1.67	64.07 ^{Ab} ± 2.41	73.59 ^{Aa} ± 3.53	64.16 ^{Bb} ± 0.91
20	70.48 ^{Aa} ± 0.82	64.64 ^{Ab} ± 1.75	74.13 ^{Aa} ± 3.57	63.85 ^{Bb} ± 3.84

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4.6 แสดงการเกิดความไม่คงตัวของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่มีการเติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีปริมาณต่างกัน โดยระบุเป็น % creaming index จากผลการทดลองพบว่า ในวันแรก CP+NE10% และ CP+NE20% มี % creaming index สูงกว่า CP+NE5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการแยกชั้นครีม เกิดจากการกระจายตัวของขนาดอนุภาค การมีขนาดอนุภาคไม่เท่ากัน อนุภาคขนาดใหญ่เกาะกลุ่มเคลื่อนที่ไปสู่ผิวหน้าได้เร็วกว่า ซึ่งการเติมนาโนอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กระดับนาโนเมตรลงไปในกะทิมากกว่า ทำให้ในกะทิมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ไม่เท่ากันมากกว่า จึงทำให้เกิดการแยกชั้นครีมได้สูงกว่า CP+NE5%

เมื่อเวลาผ่านไป พบว่า % creaming index ของ CP, CP+NE5% และ CP+NE10% เพิ่มขึ้น ในขณะที่ % creaming index ของ CP+NE20% มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากการเติมนาโนอิมัลชันในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้มีปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ในกะทิที่กระจายอยู่มากกว่า จึงส่งผลให้อัตราการแยกชั้นครีมลดลงกว่า CP, CP+NE5% และ CP+NE10% แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่า CP+NE20% จะมีอัตราการเกิด % creaming index ที่ลดลง แต่การลดลงนั้นอาจจะน้อยเกินไปที่จะมีผลต่อความหนืด จึงทำให้แนวโน้มของความหนืดในทุกตัวอย่างลดลงเหมือนกัน (Silva et al., 2012)

ดังนั้น จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1.2 พบว่า การเติมนาโนอิมัลชันในกะทิ อาจไม่ได้ช่วยในเรื่องความคงตัวในกะทิให้ดีขึ้นได้มากนัก แต่สามารถช่วยชะลอการเกิดการแยกชั้นน้ำมันและชั้นครีมได้ โดยจากลักษณะทางกายภาพของกะทิที่เติมนาโนอิมัลชันปริมาณต่างๆ นอกจากการแยกชั้นน้ำมัน, การแยกชั้นครีม และความหนืด ยังคงมีลักษณะทางกายภาพอีกด้านหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการยอมรับของอาหาร นั่นคือ สี ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2.1.3

4.2.1.3 การวัดสี (L^* , a^* และ b^*)

จากการวัดค่าสีของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาน้ำมันชั้นปริมาณ 5, 10 และ 20% (v/v) โดยค่าสี L^* คือ ความสว่างของตัวอย่างจากเข้มถึงสว่าง มีค่าเท่ากับ 0-100, ค่าสี a^* บวกถึงสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และค่าสี b^* บวกถึงสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าสี L^* , a^* และ b^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาน้ำมันชั้น (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

พารามิเตอร์	เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
L^*	0	65.31 ^{Dc} ± 0.71	66.39 ^{Cb} ± 0.04	69.28 ^{Ca} ± 0.03	69.40 ^{Da} ± 0.04
	5	72.26 ^{Cb} ± 0.03	77.90 ^{Ba} ± 1.36	77.03 ^{Ba} ± 0.01	77.83 ^{Ca} ± 0.41
	10	74.38 ^{BCd} ± 0.01	78.87 ^{ABa} ± 0.01	77.04 ^{Bc} ± 0.31	77.62 ^{Cb} ± 0.01
	15	76.81 ^{ABa} ± 3.31	79.00 ^{ABa} ± 0.03	77.25 ^{ABa} ± 0.01	78.50 ^{Ba} ± 0.04
	20	77.71 ^{Ac} ± 0.12	79.89 ^{Ab} ± 0.03	77.50 ^{Ad} ± 0.02	80.21 ^{Aa} ± 0.03
a^*	0	-0.31 ^{Dd} ± 0.03	0.15 ^{Db} ± 0.02	0.26 ^{Da} ± 0.01	0.11 ^{Ec} ± 0.01
	5	0.15 ^{Cd} ± 0.01	0.28 ^{Cb} ± 0.01	0.36 ^{Ca} ± 0.00	0.23 ^{Dc} ± 0.01
	10	0.21 ^{Cd} ± 0.02	0.31 ^{Cc} ± 0.00	0.64 ^{Ba} ± 0.01	0.46 ^{Cb} ± 0.01
	15	0.73 ^{Bab} ± 0.19	0.57 ^{Bb} ± 0.01	0.79 ^{Aa} ± 0.02	0.63 ^{Bab} ± 0.03
	20	0.91 ^{Aa} ± 0.02	0.83 ^{Ab} ± 0.04	0.83 ^{Ab} ± 0.04	0.84 ^{Ab} ± 0.02
b^*	0	2.53 ^{Ca} ± 0.08	-0.27 ^{Cc} ± 0.01	1.05 ^{Cb} ± 0.00	-0.31 ^{Ec} ± 0.02
	5	2.4 ^{Ca} ± 0.02	1.15 ^{Bb} ± 0.48	1.07 ^{Cb} ± 0.08	1.16 ^{Db} ± 0.07
	10	2.73 ^{Ba} ± 0.19	2.64 ^{Aa} ± 0.00	1.87 ^{Bc} ± 0.01	2.37 ^{Cb} ± 0.00
	15	2.86 ^{Ba} ± 0.00	2.67 ^{Ab} ± 0.01	2.03 ^{Ad} ± 0.01	2.54 ^{Bc} ± 0.01
	20	3.34 ^{Ab} ± 0.01	3.00 ^{Ac} ± 0.01	2.04 ^{Ad} ± 0.05	5.00 ^{Aa} ± 0.07

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากผลการทดลอง พบว่าการเติมนาน้ำมันชั้น ส่งผลให้ค่า L^* และค่า a^* สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในวันแรกของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป อาจเนื่องมาจาก เมื่อเวลาผ่านไปไขมันคือน้ำมันทั้งในนาน้ำมันชั้นและในกะทิเพิ่มขึ้น จากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างอนุภาค ทำให้การกระจายแสงมีประสิทธิภาพน้อยลง แสง สามารถแทรกซีกไปในน้ำมันชั้นได้มากขึ้น (Chantrapornchai et al.,

2001) นอกจากนี้ น้ำมันที่แยกชั้นจากกะทิ เมื่อเวลาผ่านไป สามารถเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวและการสะท้อนของแสงได้ (Chanamai & McClements, 2000) จึงอาจส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า L^* และค่า a^* ที่เพิ่มขึ้นได้

เมื่อพิจารณาค่า b^* พบว่า มีค่าลดลงสำหรับตัวอย่างที่เติมนาโนอิมัลชัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากรายงานของ Khuenpet et al. (2016) พบว่า การเติมอิมัลซีไฟเออร์ CMC และ Montanox 60 ในกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ส่งผลทำให้ค่าสีเหลืองหรือค่า b^* ลดลง เพราะปริมาณอิมัลซีไฟเออร์ในกะทิที่มากขึ้น ส่งผลให้เพิ่มความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของไขมันและของแข็งอื่นๆ ดังนั้นการเติมนาโนอิมัลชันลงไป ในกะทิ ทำให้มีปริมาณอิมัลซีไฟเออร์ในกะทิที่มากขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างโดยรวมมีค่า b^* ลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป ค่า b^* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เพราะเกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาคไขมันและของแข็งต่างๆ ในกะทิ จากการรวมตัวของอนุภาคไขมันและการเกิดตะกอนของโปรตีนในกะทิ (Khuenpet et al., 2016)

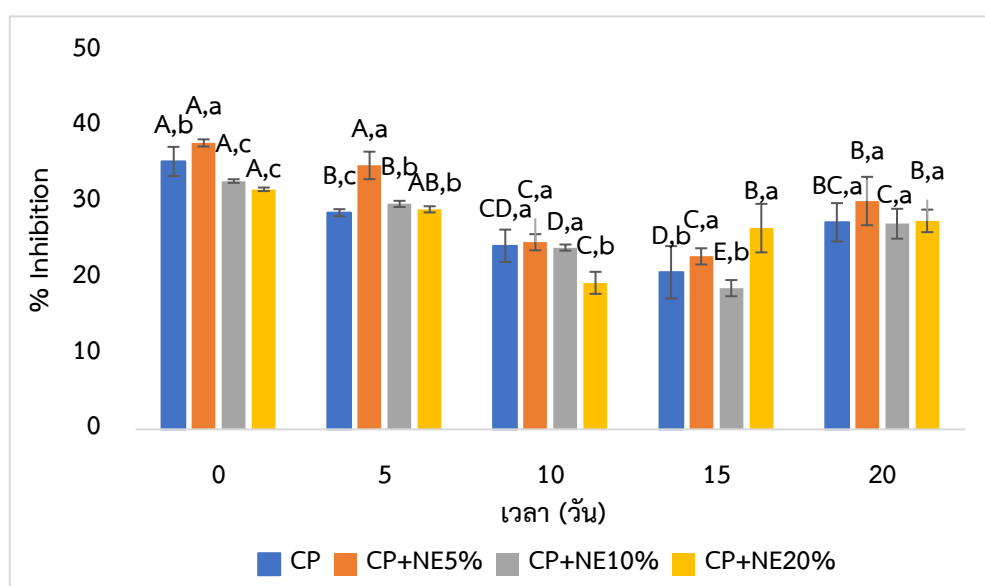
4.2.2 ผลของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อสมบัติทางเคมีของกะทิ

4.2.2.1 การต้านออกซิเดชันของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานาอิมัลชัน (CP+NE): DPPH assay

นาโนอิมัลชัน (CP+NE): DPPH assay

การศึกษาการต้านการเกิดออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาในกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP+NE) โดยการติดตามอนุมูล DPPH เป็นการวัดความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของ CP+NE เนื่องจากอนุมูล DPPH สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมแล้วเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (DPPH-H) โดยพบว่า CP, CP+NE5%, CP+NE10% และ CP+NE20% มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH (%inhibition) เป็น $35.37 \pm 1.93\%$, $37.82 \pm 0.47\%$, $32.79 \pm 0.24\%$ และ $31.70 \pm 0.24\%$ ตามลำดับ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ดังแสดงในภาพที่ 4.4 โดย CP+NE5% มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงกว่า CP, CP+NE10% และ CP+NE20% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ถึงแม้ว่า CP+NE20% จะมีปริมาณของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่สูง แต่เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูล DPPH กับ สารประกอบฟีนอลบางชนิดที่มีในวานิลลา ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ จึงทำให้ยังคงมีอนุมูล DPPH ที่สูงกว่า CP+NE10% และ CP+NE20% ส่งผลให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมลดลงตามปริมาณของนาโนอิมัลชัน (Bondet et al., 1997) นอกจากนี้ CP มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH (%inhibition) ที่สูงกว่า CP+NE10% และ CP+NE20% อาจเนื่องมาจาก ในกะทิมีสารกลุ่มฟีนอลิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid), กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) และ กรดวานิลลิก (vanillic acid) เป็นต้น แต่ไม่มีวานิลลิน เป็นองค์ประกอบ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกในกะทิ สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระได้ โดยไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่อย่างไรก็ตาม CP มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH (%inhibition) ที่น้อยกว่า CP+NE5% เนื่องมาจากการเติมนานาอิมัลชันปริมาณ 5 % (v/v) มีปริมาณที่ไม่สูง ทำให้สารวานิลลินในนาโนอิมัลชันเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับน้อย แต่มีสารฟีนอลิกอื่นในน้ำมันหอมระเหยวานิลลาจากนาโนอิมัลชันและสารฟีนอลิกในกะทิที่ทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระ จึงทำให้ CP มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH (%inhibition) ที่น้อยกว่า CP+NE5% และในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า แต่ละตัวอย่างมีค่าการจับกับอนุมูล DPPH ที่ลดลง เนื่องจาก เมื่อเวลาผ่านไป ขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันและกะทิมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น (Khuenpet et al., 2016) จึงทำ

ให้ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานาโอมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ลดลง เพราะขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวของหยดไขมันน้อยลง ทำให้การนำส่งสาร (derivery) สำคัญใน น้ำมันหอมระเหยวานิลลาลดน้อย (Zorzi, 2016) ส่งผลให้เข้าถึงบริเวณที่มีอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อยกว่าอนุภาคที่มี ขนาดเล็กกว่า จึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่า (Almeida et al., 2011) นอกจากนี้ จะพบว่าในวันที่ 20 ของ การเก็บรักษา แต่ละตัวอย่าง มีค่าการต้านออกซิเดชันกลับมาเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับวันที่ 15 อาจเนื่องมาจาก วานิล ลิน มีปริมาณน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากสารพวกฟีนอลสามารถสลายไปได้ จากปัจจัยภายนอก เช่น แสง (de la Torre-Robles et al., 2019) เมื่อสารฟีนอลิกอย่างวานิลลินที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับลดลง ทำให้อนุมูล อิสระที่ได้จากปฏิกิริยาย้อนกลับลดลง ส่งผลให้ค่าการต้านออกซิเดชันกลับมาเพิ่มขึ้นในวันที่ 20



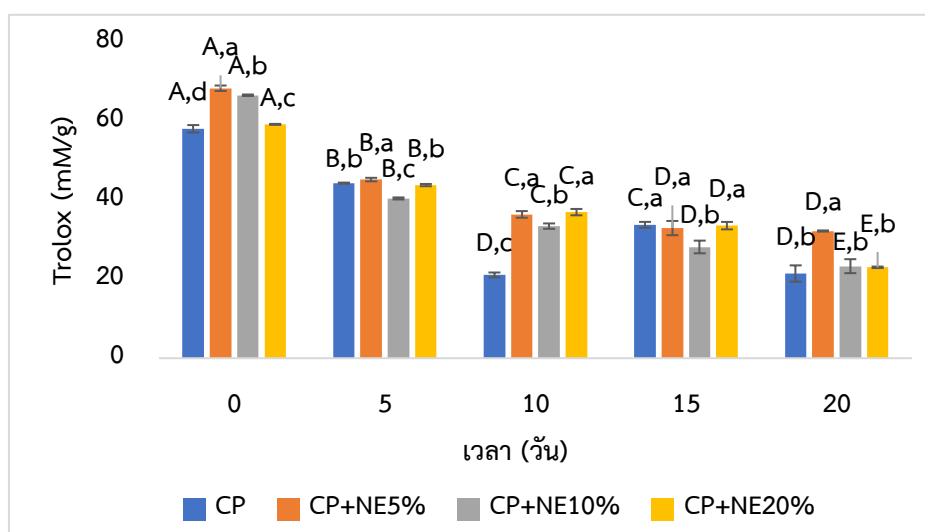
ภาพที่ 4.5 %inhibition ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานาโอมัลชัน (CP+NE) ใน ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย a,b,... บอกถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน และ A, B,...บอกถึงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

4.2.2.2 การต้านออกซิเดชันของของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานาโอมัลชัน (CP+NE): FRAP assay

การศึกษาการต้านออกซิเดชันโดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay) เป็นการติดตามความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานาโอมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (CP+NE) โดยจะรายงานเป็นค่าเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน (Trolox equivalent antioxidant, TEAC) คือ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารละลาย Trolox ใน 1 กรัมของตัวอย่าง จากการทดลองพบว่า CP+NE5% (68.25 ± 0.69 mM Trolox / g) มีค่า TEAC สูงกว่า CP+NE10% ($66.48 \pm$

0.19 mM Trolox / g), CP+NE20% (59.11 ± 0.12 mM Trolox / g) และ CP (58 ± 0.93 mM Trolox / g) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ดังแสดงในภาพที่ 4.4 อาจจะเป็นเนื่องมาจาก การเติมปริมาณนาโนอิมัลชันที่น้อยกว่า ทำให้มีปริมาณของสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่า แต่เวลาปลดปล่อยหรือการกระจายตัวของสารเหล่านั้น อาจเกิดขึ้นได้เร็วกว่า จากการที่มีปริมาณน้อยกว่า (Kotta et al., 2015) ในขณะที่ค่า TEAC ของ CP มาจากในกะทิมีสารพอลิฟีนอลเป็นองค์ประกอบ นั่นคือ กรดแกลลิก (gallic acid), กรดคลอโรจีนิค (chlorogenic acid) และ กรดวานิลลิก (vanillic acid) เป็นต้น และการที่ CP+NE20% มีค่าการต้านออกซิเดชันน้อยในวันที่ 0 ก็สอดคล้องกับผลของ %creaming index ที่จะพบว่า CP+NE20% มี %creaming index ที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นในวันที่ 0 ส่งผลให้มีค่าการต้านออกซิเดชันที่ต่ำกว่า เนื่องจากการแยกชั้นของชั้นครีมในกะทิ เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน ทำให้อนุภาคไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น จนเกิดการแยกชั้น (Wilde, 2019) การที่อนุภาคใหญ่ขึ้น ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระในนาโนอิมัลชันเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้ยากขึ้น (Almeida et al., 2011) และเมื่อเวลาผ่านไป CP+NE5%, CP+NE10% และ CP+NE20% มีแนวโน้มการต้านออกซิเดชันที่ลดลง และมีค่าการต้านออกซิเดชันที่มากกว่า CP เนื่องมาจากปริมาณของนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่เติมลงไป ที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน จึงอาจทำให้กะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันมีการต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น และในระหว่างการเก็บรักษา ทุกตัวอย่างมีค่าการต้านออกซิเดชันที่ลดลง นั่นคือ CP+NE5% (32.16 ± 0.14 mM Trolox / g) CP+NE10% (23.27 ± 1.76 mM Trolox / g), CP+NE20% (22.98 ± 0.19 mM Trolox / g) และ CP (21 ± 2.06 mM Trolox / g) ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา เนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวของสารสำคัญต่างๆในตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน เมื่อเวลาผ่านไป

นอกจากนี้ พบว่า CP มีค่าการต้านออกซิเดชันลดลงอย่างมากในวันที่ 10 และมีการเพิ่มขึ้นในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ที่มีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา สามารถผลิตสารในกลุ่มฟีนอลิกได้ ทำให้ส่งเสริมการต้านออกซิเดชันให้สูงขึ้นในวันที่ 15 (Dey et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tian et al. (2012) พบว่าจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Penicillium* สามารถแสดงศักยภาพการต้านออกซิเดชันที่สูงขึ้นสำหรับการหมักข้าว โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Penicillium* เป็นเชื้อราที่สามารถพบในกะทิได้ (Mabesa & del Rosario, 1979; Tarek et al., 2020)



ภาพที่ 4.6 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย a,b,... บอกถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน และ A, B,...บอกถึงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

4.2.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์ บ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation โดยสารเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาในขั้น propagation (primary product) โดยผลการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่า Peroxide value (meq O₂/kg) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
0	8.31 ^{Aa} ± 0.90	2.45 ^{Bd} ± 0.17	5.44 ^{Ac} ± 0.32	6.91 ^{Ab} ± 0.15
5	1.68 ^{Ca} ± 0.86	1.21 ^{Cab} ± 0.20	0.71 ^{Db} ± 0.25	0.48 ^{Db} ± 0.15
10	3.07 ^{Bb} ± 0.57	2.19 ^{BCb} ± 0.52	4.94 ^{Aa} ± 0.39	2.68 ^{Cb} ± 0.82
15	2.14 ^{BCbc} ± 0.56	4.49 ^{Aa} ± 0.69	3.01 ^{Bb} ± 0.44	1.80 ^{Cc} ± 0.04
20	1.18 ^{Cb} ± 0.50	3.58 ^{Aa} ± 0.90	2.12 ^{Cb} ± 0.50	4.13 ^{Ba} ± 0.82

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลองการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า วันแรกของการเก็บรักษา CP มีปริมาณของสารเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่าตัวอย่างที่มีการเติมนาโนอิมัลชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation นั้นคือเกิดอนุมูลอิสระในขั้น initiation ในตัวอย่างจากการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในกะทิ และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปและได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารกลุ่มเปอร์ออกไซด์ (primary product) ในขั้น propagation (Gavahian et al., 2018) แต่นาโนอิมัลชันที่เติมลงไปก็มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากการมีอนุภาคที่เล็ก ทำให้เกิดการกระจายได้ทั่วถึงในอาหาร และเกิดการปลดปล่อยสารอย่างน้ำมันหอมระเหยออกมา ทำให้การเติมนาโนอิมัลชันลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ได้ แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่า CP จะมีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ (8.31 ± 0.90 meq O₂/kg) สูงกว่าตัวอย่างอื่น แต่ยังคงมีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยา lipid oxidation โดยค่าเปอร์ออกไซด์ปริมาณที่ทำให้

เกิดกลิ่นหืนอยู่ที่ 35.5 meq O₂/kg (Waisundara et al., 2007) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกะทิที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย และมีสารพอลิฟีนอล ที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ โดยจากรายงานของ Nadeeshani et al. (2015) พบว่าในกะทิสดมีปริมาณของพอลิฟีนอลอยู่ที่ 816 ± 0.32 ug/100ml ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างของ CP และ CP+NE เกิดเพอร์ออกไซด์ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดกลิ่นหืน

ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ทุกตัวอย่างมีการลดลงของค่าเพอร์ออกไซด์ เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation เมื่อเกิดผลิตภัณฑ์เพอร์ออกไซด์ในขั้น propagation แล้ว สารเพอร์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยากันต่อได้เป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ (aldehyde), คีโตน (ketone) และแอลเคน (alkane) (Gavahian et al., 2018) ดังนั้น จึงอาจทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลงได้ในวันที่ 5 และค่าเพอร์ออกไซด์กลับมาเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา เนื่องจาก ในกะทิมีสารในกลุ่มฟีนอลิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid), คาเทชิน (catechin) (Nadeeshani et al., 2015) โดยสารฟีนอลิกเหล่านี้ จะถูกออกซิไดซ์ที่ตำแหน่งไฮดรอกซิล (OH-group) และผลิตเป็นสารเพอร์ออกไซด์ได้ (Ofoedu et al., 2021) จึงทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์มีการลดลงและเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา และหลังจากนั้น จะพบว่า ค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP และ CP+NE10% มีแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่ CP+NE5% และ CP+NE20% มีการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ การที่ตัวอย่างที่เติมนาโนอิมัลชันมีแนวโน้มของค่าเพอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน หลังจากวันที่ 10 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจาก อัตราการปลดปล่อยสารสำคัญของนาโนอิมัลชันในกะทิต่างกัน ซึ่งน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่มีส่วนประกอบของสารฟีนอลิกเช่นกัน จึงอาจมีผลต่อปริมาณเพอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันได้ แต่สำหรับ CP แนวโน้มของค่าเพอร์ออกไซด์ที่ลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อสารให้กลุ่มเพอร์ออกไซด์สารเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งแล้ว ก็เกิดปฏิกิริยาในขั้น termination ผลิตเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ (aldehyde), คีโตน (ketone) และแอลเคน (alkane) (Gavahian et al., 2018) เป็นต้น ทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์เกิดการลดลงหลังจากวันที่ 10 ของการเก็บรักษา โดยผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา lipid oxidation ในขั้น termination สามารถวัดได้จากการวิเคราะห์ 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ในหัวข้อต่อไป

4.2.2.4 ค่า thiobarbituric acid (TBA)

ค่า TBA บ่งบอกถึงการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยา lipid oxidation โดยรายงานการเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 nm ของสารกลุ่มที่สามารถทำปฏิกิริยากับ TBA ได้ซึ่งเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้น termination ของปฏิกิริยา lipid oxidation โดยผลการวัด ค่า TBA ของตัวอย่างกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ค่า thiobarbituric acid (mg⁻¹) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เวลา (วัน)	CP	CP+NE5%	CP+NE10%	CP+NE20%
0	0.16 ^{Aa} ± 0.01	0.02 ^{Cc} ± 0.01	0.12 ^{Aa} ± 0.03	0.00 ^{Dc} ± 0.00
5	0.03 ^{Bb} ± 0.01	0.07 ^{Aab} ± 0.00	0.12 ^{Aa} ± 0.05	0.03 ^{BCb} ± 0.00

10	0.01 ^{Cb} ± 0.00	0.03 ^{Cab} ± 0.01	0.04 ^{Ba} ± 0.02	0.02 ^{Cab} ± 0.01
15	0.03 ^{Ba} ± 0.00	0.03 ^{BCa} ± 0.01	0.01 ^{Bb} ± 0.00	0.04 ^{Ba} ± 0.01
20	0.03 ^{Bb} ± 0.00	0.05 ^{Ba} ± 0.01	0.05 ^{Ba} ± 0.01	0.05 ^{Aa} ± 0.01

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากผลการทดลองพบว่า ในวันแรกของการเก็บรักษา ค่า TBA ของ CP+NE5% และ CP+NE20% มีค่าน้อยกว่า CP และ CP+NE10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการต้านออกซิเดชัน โดยวิธี FRAP assay ของ CP+NE5% และ CP+NE20% ที่มีค่าที่สูง ดังแสดงในภาพที่ 4.10 การที่มีค่าการต้านออกซิเดชัน (FRAP assay) ที่สูง บ่งบอกถึงความสามารถในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระมาก ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ในขั้น initiation และ propagation ได้ ทำให้สารในกลุ่มแอลดีไฮด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยามีค่าน้อย (Pongtongkam & Chaiseri, 2020)

ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มไม่ชัดเจน อาจเนื่องมาจากการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ tertiary oxidation product อย่างรวดเร็ว จากการให้ความร้อน ซึ่งสามารถเร่งการสลายตัวของกรดไขมัน ดังนั้น จึงไม่สามารถวัดผลิตภัณฑ์ในขั้น secondary product ได้ทัน (Sivakanthan et al., 2018) ทำให้ค่า TBA ไม่เป็นแนวโน้มเดียวกันกับค่า PV ที่ควรจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเปอร์ออกไซด์ลดลง จากการที่เปอร์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับ TBA ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sivakanthan et al. (2018) ที่พบว่า ค่า TBARS ของน้ำมันมะพร้าวมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน

4.2.3 ปริมาณจุลินทรีย์ของของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมน้ำมันอัลซัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

จากการทดลองการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เป็นเวลา 15 min ที่อุณหภูมิ 72 °C และเติมน้ำมันอัลซันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา NE1:1 ปริมาณ 5% (CP+NE5%), 10% (CP+NE10%), และ 20% (CP+NE20%) พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และ CP+NE5% คือ 3.45 log CFU/ml และ 3.47 log CFU/ml ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยในกะทิพาสเจอร์ไรส์ อาจมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่สูงกว่ากะทิพาสเจอร์ไรส์ทางการค้า เนื่องจากในการพาสเจอร์ไรส์กะทิทางการค้าเป็นการพาสเจอร์ไรส์แบบ high temperature short time ที่อุณหภูมิ 90 °C เวลา 15 s (Jensen et al., 1995)

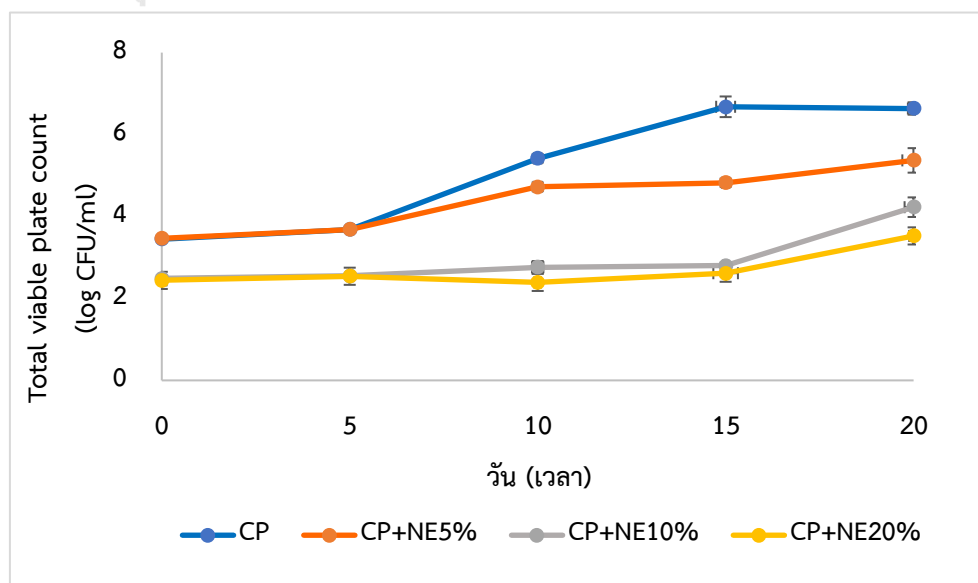
ดังนั้น การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า จึงทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ต่ำกว่า ในขณะที่ CP+NE10% และ CP+NE20% มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น คือ 2.49 และ 2.45 log CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติกับ CP และ CP+NE5% ($p \leq 0.05$) ปริมาณจุลินทรีย์ในแต่ละสูตรมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C และพบว่าการเพิ่มปริมาณนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดในกะทิลดลง เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยวานิลลามีสารวานิลลิน และกรดวานิลลิก ซึ่งมีสมบัติยับยั้งจุลินทรีย์ (Wu et al., 2018) และเมื่อน้ำมันหอมระเหยอยู่ในรูปของนาโนอิมัลชัน ขนาดของหยดไขมันมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถแพร่เข้าสู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ดี และปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิก เช่น วานิลลิน มีผลต่อการทำลายเยื่อหุ้มแบคทีเรีย (Holetz et al., 2002) ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารสำคัญภายในเซลล์แบคทีเรีย นอกจากนี้ การเกิดอันตรกิริยาของประจุบวกของอนุภาคนาโนอิมัลชันกับประจุลบของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาที่ตำแหน่งที่เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ได้มากขึ้น (Donsi & Ferrari, 2016)

อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่า CP และ CP+NE5% มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 5.43 log CFU/ml และ 4.73 log CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ทางมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูปกำหนด (20,000 CFU/ml หรือ 4.30 log CFU/ml, ไม่พบปริมาณโคลิฟอร์ม และยีสต์รา) ในขณะที่ CP+NE10% และ CP+NE20% ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 4.27 log CFU/ml และ 3.53 log CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม CP+NE10% และ CP+NE20% พบปริมาณโคลิฟอร์ม และยีสต์รา ในตัวอย่างหลังเก็บรักษาไว้นาน 20 วัน โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดใน CP+NE10% และ CP+NE20% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 วัน

ดังนั้น ปริมาณที่เหมาะสมของนาโนอิมัลชันที่เติมลงในกะทิพาสเจอร์ไรซ์ คือ 10% (v/v) เนื่องจากมีการลดลงของจุลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกับการเติมไปปริมาณ 20% (v/v) จึงเลือกนาโนอิมัลชันน้ำมันหอมระเหยวานิลลา NE1:1 ปริมาณ 10% (v/v) นำไปใช้ในกะทิ ในการศึกษาขั้นถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.7 จำนวนจุลินทรีย์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชัน (CP+NE) ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 ° C

4.2.4 การวิเคราะห์สารระเหยของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชัน (CP+NE)

การวัดการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาวันแรกและวันสุดท้ายของการเก็บรักษา แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 สารระเหยของกะทิพาสเจอร์ไรส์ (CP) และกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา(CP+NE)

Name of compound	Area %			
	CP (day 0)	CP (day 10)	CP+NE10% (day 0)	CP+NE10% (day 20)
9H-Imidazo benzimidazole, 2-(4-chlorophenyl)-9- methyl-	1.69	nd	nd	nd
3,5-Dimethylbenaldehyde				
thiocarbamoylhydrazone	0.68	nd	nd	nd
o-Methoxybenzonitrile	1.56	nd	nd	nd
Benzaldehyde	0.68	nd	14.44	13.41
Benzyl alcohol	13.49	nd	77.64	77.27
Benzothiazole	1.54	nd	nd	nd
2-methyl	0.73	nd	nd	nd
7-Methyl -2-phenyl-1H-indole	0.72	nd	nd	nd
1,4-Benzenediol, 2,5-bis(1,1- dimethylethyl)-	2.41	nd	nd	nd
1-Dodecanol	nd	6.1	nd	nd
di-n-decylsulfone	nd	nd	0.56	nd
Corydaldine	2.55	nd	nd	nd
Vanillin	nd	nd	2.57	4.21
Coumarin	nd	nd	0.77	1.18

Nonacosane	nd	0.05	nd	nd
Tetrapentacontane	2.03	nd	nd	nd
Hexacosane	1.02	0.43	1.49	nd
Octadecane	nd	0.07	nd	nd
Docosane	nd	nd	2.48	nd
Triacontane, 11-Methyltricosane, 13-Methylheptacosane	nd	58.01	nd	nd
7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1,5-Dimethyl-	1.73	nd	nd	nd
Eicosane	nd	nd	0.62	0.89
Nonacos-1-ene	nd	1.82	nd	nd
Hept-2-ene	nd	17.72	nd	nd
1-Tricosene	nd	1.33	nd	nd
2, 4, 4, 6, 6, 8, 8-Heptamethyl-1-nonene	nd	6.7	nd	nd
Isopropyl octacosyl ether	nd	3.21	nd	nd
Eicosyl pentafluoropropionate	0.94	nd	nd	nd
Ethyl 3-amino-4-(1, 3-benzodiazol-1-yl)benzoate	nd	0.46	1.2	nd
Octacosyl trifluoroacetate	nd	0.49	nd	nd
Benzyl benzoate	nd	nd	0.35	1.09
4-trifluoromethylbenzoic acid	3.76	nd	nd	nd
4H-Furo[3,2-b] pyrrole-5-carboxylic acid	nd	nd	nd	nd
Benzoic acid	nd	nd	nd	nd
Caprylic acid	5.79	nd	nd	nd
Capric acid	1.74	nd	nd	nd
Palmitic acid	2.81	nd	nd	nd
Lauric acid	nd	nd	nd	0.58

*nd = not detected

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ในวันที่ 0 มีสารระเหยที่พบในกะทิ คือ สารในกลุ่มคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) คือ Benzoic acid, Palmitic acid, Caprylic acid, และ Capric acid กลุ่มแอลดีไฮด์ (aldehyde) คือ Benzaldehyde กลุ่มเอสเทอร์ (ester) คือ Eicosyl pentafluoropropionate กลุ่ม

ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) คือ Hexadecane และ Tetrapentacontane ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ (Dimzon et al., 2020) ที่พบสารระเหยในไขมันมะพร้าวที่ผ่านการให้ความร้อน ได้แก่ Benzoic acid และ Benzaldehyde และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2020) ที่พบสารระเหยสำคัญในกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ได้แก่ Benzaldehyde และพบกรดไขมัน Palmitic acid, Caprylic acid, และ Capric acid แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 10 วัน ซึ่งเป็นวันที่ตัวอย่างมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกินที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูปได้กำหนดไว้ พบว่า CP ไม่พบกรดไขมัน แต่พบปริมาณของสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่อเวลาผ่านไป จุลินทรีย์มีการใช้สารอาหารอย่างไขมัน ในการเจริญเติบโต และจากการเมแทบอลิซึมกรดไขมันเปลี่ยนเป็นสารกลุ่มแอลเคนได้ (Sinha et al., 2017) ทำให้ในวันที่ 10 ปริมาณไขมันลดลงจนไม่สามารถตรวจสอบได้ และนอกจากนี้ การเกิด lipid oxidation ทำให้เกิดสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เช่น Octadecane, Docosane, Hexane และ Pentane เป็นต้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้น termination ของปฏิกิริยา (Coultrate, 2009)

สำหรับสารระเหยที่พบในกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานโนอิมัลชัน 10% (v/v) (เป็นปริมาณที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสมบัติทางจุลินทรีย์) พบว่า การเติมนานโนอิมัลชันในกะทิพาสเจอร์ไรส์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในกะทิ ซึ่งพบว่า จะมีสารสำคัญจากน้ำมันหอมระเหยวานิลลาอย่าง วานิลลิน และพบสารที่ให้กลิ่นของวานิลลา คือ Coumarin (Marles et al., 1987) นอกจากนี้จะพบว่าในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา มีการเพิ่มขึ้นของสาร Vanillin ซึ่งบ่งบอกถึงการปลดปล่อยของสารสำคัญในนานโนอิมัลชัน แต่อย่างไรก็ตาม กลิ่นของวานิลลา ก็มีกลิ่นที่สามารถเข้ากับกะทิได้ โดยพบว่า สาร Coumarin ในวานิลลา คือสาร lactone ที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิวชันของวงแหวนเบนซีนและวงแหวน α -pyrone (Venugopala et al., 2013) สาร lactone จัดเป็นหนึ่งในสารให้กลิ่นที่สำคัญในกะทิ (Wang et al., 2020) และสาร Coumarin ยังเป็นสารให้กลิ่นที่บอกลักษณะของสาร delta-heptalactone ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่พบในกะทิ (The Good Scents Company, 2021) แม้ว่ากลิ่นของกะทิอาจจะหายไปจากการเติมนานโนอิมัลชัน ก็อาจจะยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ เนื่องจากยังคงมีกลิ่นที่คล้ายกับกะทิปรากฏอยู่ในตัวอย่าง จากเหตุผลข้างต้น จึงช่วยยืนยันได้ว่าวานิลลามีกลิ่นที่สามารถเข้ากับกะทิได้

4.3 ผลของการแปรรูปด้วยพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนต่อคุณภาพของกะทิที่เติมนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน (plasma treatment, PT) โดยการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างกะทิไม่พาสเจอร์ไรส์และพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา (CM/CP+NE10%) เพื่อดูผลของการใช้พลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในกะทิการพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา

4.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

4.3.1.1 การวัดสมบัติเชิงวิทยาการกระแส (rheology properties)

จากการศึกษาผลของสมบัติเชิงวิทยาการกระแส (rheology properties) ของกะทิพาสเจอร์ไรส์และ

ไม่พาสเจอร์ไรส์ที่ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ของสมบัติเชิงวิทยาการกระแส (rheology properties) ระหว่าง $0.1-500 \text{ s}^{-1}$ ของอัตราเฉือน (shear rate) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ที่ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C โดย σ คือ yield stress (Pa), K คือ consistency coefficient ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n คือ flow behavior index และ R^2 คือ coefficient of determination

พารามิเตอร์	เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
σ ($\text{m}\cdot\text{Pa}$)	0	1.43 ^{Cb} \pm 0.00	5.23 ^{Da} \pm 0.00	6.41 ^{Ea} \pm 0.00	2.11 ^{Fb} \pm 0.00
	5	5.30 ^{Ca} \pm 0.00	8.15 ^{Da} \pm 0.00	7.77 ^{Ea} \pm 0.00	12.48 ^{Ea} \pm 0.00
	10	9.63 ^{Ca} \pm 0.00	8.86 ^{Da} \pm 0.00	11.21 ^{Da} \pm 0.00	17.40 ^{Da} \pm 0.00
	15	41.11 ^{Bb} \pm 0.00	47.30 ^{Ca} \pm 0.00	23.77 ^{Cc} \pm 0.00	23.52 ^{Cc} \pm 0.00
	20	45.73 ^{Bb} \pm 0.00	55.86 ^{Ba} \pm 0.00	31.65 ^{Bc} \pm 0.00	33.05 ^{Bc} \pm 0.00
	25	130.77 ^{Aa} \pm 0.04	136.85 ^{Aa} \pm 0.01	74.58 ^{Ab} \pm 0.00	50.44 ^{Ab} \pm 0.00
K ($\text{mPa}\cdot\text{s}^n$)	0	8.62 ^{Ab} \pm 0.00	36.74 ^{Aa} \pm 0.00	24.69 ^{Aa} \pm 0.00	42.94 ^{Aa} \pm 0.00
	5	7.29 ^{Bb} \pm 0.00	25.26 ^{Ba} \pm 0.00	9.91 ^{Bb} \pm 0.00	24.74 ^{Ba} \pm 0.00
	10	3.88 ^{Cc} \pm 0.00	14.88 ^{Cb} \pm 0.00	7.48 ^{Cb} \pm 0.00	24.41 ^{Ba} \pm 0.00
	15	1.73 ^{Dc} \pm 0.00	6.49 ^{Cb} \pm 0.00	4.40 ^{Dc} \pm 0.00	15.49 ^{Ca} \pm 0.00
	20	1.50 ^{Dc} \pm 0.00	6.32 ^{Ca} \pm 0.00	2.74 ^{DEb} \pm 0.00	13.71 ^{Da} \pm 0.00
	25	0.73 ^{Eb} \pm 0.00	1.27 ^{Dc} \pm 0.00	1.54 ^{Eb} \pm 0.00	8.18 ^{Ea} \pm 0.00
n (-)	0	0.94 ^{Da} \pm 0.01	0.84 ^{Ed} \pm 0.00	0.89 ^{Dc} \pm 0.02	0.85 ^{Bc} \pm 0.00
	5	1.00 ^{Ca} \pm 0.00	0.90 ^{Dc} \pm 0.00	1.00 ^{Bc} \pm 0.05	0.87 ^{Bb} \pm 0.00
	10	1.02 ^{Bc} \pm 0.02	0.95 ^{Cb} \pm 0.01	0.94 ^{Bc} \pm 0.05	0.88 ^{Bc} \pm 0.01
	15	1.07 ^{Ba} \pm 0.01	0.97 ^{Bc} \pm 0.00	1.07 ^{ABa} \pm 0.10	0.89 ^{Bc} \pm 0.02
	20	1.15 ^{Aa} \pm 0.01	0.99 ^{Bb} \pm 0.01	1.04 ^{Bab} \pm 0.03	0.93 ^{Ab} \pm 0.05
	25	1.14 ^{Aa} \pm 0.08	1.02 ^{Ab} \pm 0.03	1.14 ^{Aa} \pm 0.04	0.96 ^{Ab} \pm 0.05
R^2	0	0.997	0.989	0.997	0.997
	5	0.996	0.988	0.998	0.996
	10	0.998	0.994	0.998	0.996

15	0.987	0.997	0.999	0.998
20	0.997	0.995	0.998	0.998
25	0.998	0.997	0.997	0.998

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากผลการทดลองพบว่า ค่า yield stress ของทุกสูตรเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปตัวอย่างจะมีความคงตัวลดลง จากการเกิดการแยกชั้นครีมหรือการเกิดตะกอนของโปรตีน จึงทำให้ต้องใช้แรงในการทำให้ตัวอย่างกลับมาไหลได้เหมือนเดิม จึงทำให้มีค่า yield stress เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (Indu et al., 2019)

เมื่อพิจารณาค่า ดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) ซึ่งเป็นค่าบอกความชื้นเหลวที่เท่ากับ ความหนืดที่ s^{-1} ดังนั้น การลดลงของความหนืด ส่งผลให้ค่า K ลดลง (Bie et al., 2016) โดยพบว่า ในวันที่ 0 PT มีผลทำให้ค่า K ของ CM+NE10% ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า K ของตัวอย่าง CP+NE10% และ CP+NE10%+PT ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเป็นเพราะ PT ทำให้เกิดอนุภาคลิซิสขึ้นจากการแตกตัวของก๊าซ ซึ่งอนุภาคลิซิสนี้มีผลต่อการเพิ่มสารในกลุ่มคาร์บอนิลและเพิ่มพื้นผิวของส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีน (Coutinho et al., 2019) จึงอาจทำให้เกิดแรงต้านการไหล จึงส่งผลให้ค่า K ของ CM+NE10%+PT เพิ่มขึ้นได้ แต่ตัวอย่าง CP+NE10% ได้มีการผ่านการให้ความร้อน ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ หมู่ side chain ถูกเปิดออก และเกิดโครงสร้างใหม่สามารถจับกับส่วนที่ชอบน้ำของสารให้ความคงตัว (McClement, 1999) จากนาโนอิมัลชันได้ ดังนั้นเมื่อนำไป PT จึงอาจทำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีน เนื่องจากอนุภาคลิซิส น้อยกว่า CM+NE10% จึงทำให้ค่า K เปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม นอกจากนี้ พบว่าแต่ละสูตรมีค่า K ลดลง ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจาก เกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคที่เพิ่มขึ้น จนเกิดการแยกชั้นของกะทิ และทำให้มีของเหลวใสมากขึ้น ส่งผลให้มีความหนืดที่ลดลง (Simuang et al., 2004)

จากค่า n พบว่า ในวันที่แรก ทุกตัวอย่างที่มีค่า n น้อยกว่า 1 ซึ่งบ่งบอกได้มีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic behavior แต่เมื่อเวลาผ่านไป ตัวอย่าง CM+NE10% และ CP+NE10% มีพฤติกรรมการไหลที่เปลี่ยนแปลงไป ตั้งแต่วันที่ 5 ของ การเก็บรักษา โดยมีค่า n มากกว่า 1 อาจเกิดจาก CM+NE10% และ CP+NE10% มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของไขมันที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากอนุภาคไขมันเกิดการเกาะกลุ่มและแยกชั้น ทำให้มีความหนืดที่ลดลง (Simuang et al., 2004) จึงมีแนวโน้มเข้าสู่ไหลพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian มากขึ้น และในระหว่างการเก็บรักษา มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งใช้สารอาหารอย่างไขมัน เมื่ออนุภาคไขมันในระบบลดลง จากทั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการรวมตัวของหยดไขมัน ทำให้อนุภาคไขมันในกะทิมีน้อยลง ดังนั้น เมื่อได้รับแรงเฉือนจากการวัด จึงมีโอกาสที่แต่ละอนุภาคน้ำมันที่มีสารให้ความคงตัวจากโปรตีนในกะทิและ Tween80 ที่มาจากนาโนอิมัลชัน จะได้รับความเสียหายจากแรงเฉือนนั้น และเหนี่ยวนำให้หยดไขมันมารวมตัวเป็นหยดไขมันที่ใหญ่ขึ้น เป็นโครงสร้างที่ทำให้ต้านการไหลได้ (McClements,

2004; Nejatian & Abbasi, 2019) จึงทำให้กะทิมีพฤติกรรมการไหลเป็น non- pseudoplastic behavior ที่ทำให้ค่า n มีค่าที่สูงขึ้น โดยตัวอย่างที่ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหล ในตัวอย่าง CM+NE10%+PT ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา แต่ในตัวอย่าง CP+NE10%+PT ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu et al. (2021) ที่ศึกษาการเปลี่ยนทางกายภาพของนมที่ผ่าน PT ด้วยระบบ Dielectric barrier discharge พบว่า PT ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนพฤติกรรมการไหลของนม โดยมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning (pseudoplastic behavior) เนื่องจากเกิดการแตกตัวของส่วนประกอบ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ในนม

จะพบว่า จากการศึกษาผลของ PT ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการไหลที่เกิดขึ้น พบว่าสามารถอธิบายได้จากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคน้ำมันในกะทิ ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดการแยกชั้นน้ำมันและการแยกชั้นครีม ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 4.3.1.2

4.3.1.2 การวัดความคงตัว

การวัดค่า % oiling index และ % creaming index ในงานวิจัยนี้ใช้บ่งชี้ความคงตัวของกะทิ พาสเจอร์ไรส์และไม่พาสเจอร์ไรส์ที่เติมนานโออิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.11 ค่า % oiling index ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ที่ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
0	0.00 ^{Bb} ±0.00	16.70 ^{Ca} ± 1.50	0.00 ^{Cb} ± 0.00	0.00 ^{Db} ± 0.00
5	25.76 ^{ABa} ±1.31	18.67 ^{BCb} ±2.31	18.75 ^{Bb} ± 0.50	19.74 ^{Cb} ±1.45
10	26.81 ^{Aa} ±3.87	21.09 ^{ABb} ±2.43	18.81 ^{Bb} ± 1.32	19.51 ^{Cb} ±0.85
15	26.95 ^{Aa} ±1.80	21.82 ^{ABb} ±1.57	29.67 ^{Aa} ± 0.97	22.94 ^{BCb} ±2.61
20	28.14 ^{Aab} ±0.75	22.81 ^{Ab} ±3.04	29.52 ^{Aa} ± 1.10	25.32 ^{ABab} ±3.59
25	29.12 ^{Aa} ±2.33	24.46 ^{Ab} ±1.67	29.85 ^{Aa} ±1.73	26.63 ^{Aab} ±1.81

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลอง พบว่า วันแรกของการเก็บรักษา CM+NE10%+PT มีการแยกชั้นของไขมัน โดยมีค่า %oiling index เท่ากับ 16.70 ± 1.50 % ในขณะที่ CM+NE10%, CP+NE10%+PT และ CP+NE10% มี %oil index เท่ากับ 0.00 ± 0.00 % อาจเนื่องมาจากกะทิ มีส่วนประกอบของโปรตีน คือ โกลบูลินและอัลบูมิน และ

ฟอสโฟลิปิด คือ เลซิทีนและเซฟาลิน ซึ่งมีส่วนช่วยให้กะทิสามารถคงตัวอยู่ได้ในระยะหนึ่ง ดังนั้นในช่วงแรกไขมันในกะทิ จึงอาจจะยังไม่เกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ การให้ความร้อนกับกะทิ ทำให้โปรตีนในกะทิเกิดการเสียสภาพ เกิดการคลายเกรียวของโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนสามารถเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวระหว่างไขมันและน้ำได้ จึงมีส่วนช่วยในการขัดขวางการรวมตัวของหยดไขมันได้ (McClements, 2002) แต่การใช้ PT มีผลทำให้เกิดการแตกตัวของไขมันที่เป็นองค์ประกอบในกะทิ ทำให้ไขมันที่แตกตัวนั้นเกิดการรวมตัวและแยกชั้นได้ ดังนั้นจึงอาจทำให้ CM+NE10%+PT เป็นตัวอย่างเดียวที่มี %oiling index ในวันแรก

ในระหว่างการเก็บรักษา % oiling index ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษา และพบว่า ตัวอย่างกะทิที่ผ่าน PT มีค่า % oiling index น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่าน PT ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก PT ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระนี้มีผลต่อการแตกตัวของไขมัน (Wu et al., 2021) ทำให้ไขมันเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation มากขึ้นได้ มีผลให้ไขมันมีปริมาณลดลง จึงมีผลต่อการลดลงของ %oiling index ได้

ตารางที่ 4.12 ค่า % creaming index ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ไม่ผ่านและผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
0	66.62 ^{Ba} ± 2.96	73.46 ^{Ba} ± 5.79	68.83 ^{Ba} ± 4.50	71.23 ^{Ba} ± 2.13
5	67.17 ^{Bb} ± 0.87	75.33 ^{ABa} ± 0.58	68.67 ^{Bb} ± 3.50	75.56 ^{ABa} ± 3.15
10	70.16 ^{ACb} ± 2.33	77.24 ^{ABa} ± 2.03	70.33 ^{ABb} ± 0.97	76.36 ^{ABa} ± 3.19
15	71.66 ^{Ac} ± 0.97	78.18 ^{ABa} ± 1.57	73.59 ^{ABbc} ± 3.53	77.06 ^{Ab} ± 2.61
20	71.86 ^{ACa} ± 0.75	78.95 ^{ABa} ± 5.26	74.13 ^{ABa} ± 3.57	77.09 ^{Aa} ± 4.88
25	72.39 ^{Ab} ± 0.29	79.91 ^{Aa} ± 0.92	74.64 ^{Ab} ± 1.76	77.51 ^{Aa} ± 2.18

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า การใช้ PT ในกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชัน มีผลให้เกิดการแยกชั้นครีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดอนุมูลอิสระของการผลิตพลาสมา ซึ่งอนุมูลอิสระนี้มีผลต่อการแตกตัวของไขมัน (Wu et al., 2021) ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของไขมันไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดการรวมตัวกันของอนุภาค ซึ่งมีผลทำให้เกิดการรวมตัวของชั้นครีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแยกชั้นครีมเกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคที่ไม่เท่ากัน โดยอนุภาคที่ใหญ่กว่าจะรวมตัวกันได้เร็วกว่า (McClement, 1999) และในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า % creaming index มีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการรวมตัวกันของอนุภาคไขมัน โดยอนุภาคขนาดใหญ่เกาะกลุ่มเคลื่อนที่ไปสู่ผิวหน้าและเกิดการแยกชั้นครีมในที่สุด (Wilde, 2019)

4.3.1.3 การวัดสี (L* a* และ b*)

ผลการวัดค่าสีของกะทิพาสเจอร์ไรส์/ไม่พาสเจอร์ไรส์ ที่เติมนาโนอิมัลชันและผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน โดยค่าสี L* คือความสว่างของตัวอย่างจากเข้มถึงสว่าง มีค่าเท่ากับ 0-100, ค่าสี a* บวกถึงสีเขียว (-) ถึงสีแดง (+) และค่าสี b* บวกถึงสีน้ำเงิน (-) ถึงสีเหลือง (+) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.13 ค่าสี L* a* และ b* ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C

พารามิเตอร์	เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
L*	0	79.63 ^{Ab} ±0.05	79.98 ^{Aa} ±0.03	69.28 ^{Cd} ±0.03	75.83 ^{Ac} ±0.06
	5	75.24 ^{Bb} ±0.15	72.77 ^{Bd} ±0.10	77.03 ^{Ba} ±0.01	74.77 ^{Bc} ±0.00
	10	63.66 ^{Cd} ±0.27	72.42 ^{Bc} ±0.23	77.04 ^{Ba} ±0.31	74.13 ^{Cb} ±0.01
	15	63.53 ^{Cd} ±0.86	69.50 ^{Cc} ±0.14	77.25 ^{Ba} ±0.01	72.08 ^{Db} ±0.08
	20	61.5 ^{Dc} ±0.10	68.80 ^{Db} ±0.02	77.50 ^{Aa} ±0.02	70.53 ^{Eb} ±0.07
	25	56.46 ^{Ed} ±0.20	64.31 ^{Ec} ±0.88	77.38 ^{ABa} ±0.06	68.73 ^{Fb} ±0.24
a*	0	0.32 ^{Aa} ±0.02	0.23 ^{Ac} ±0.01	0.26 ^{Ebc} ±0.01	0.27 ^{Ab} ±0.02
	5	0.30 ^{Ab} ±0.01	0.18 ^{Bc} ±0.01	0.36 ^{Da} ±0.00	0.11 ^{Bd} ±0.03
	10	0.25 ^{Bb} ±0.03	0.09 ^{Cc} ±0.01	0.64 ^{Ca} ±0.01	0.10 ^{Bc} ±0.01
	15	0.23 ^{Bb} ±0.02	0.04 ^{Dc} ±0.01	0.79 ^{Ba} ±0.02	0.06 ^{Cc} ±0.01
	20	0.25 ^{Bb} ±0.01	0.03 ^{Dc} ±0.01	0.83 ^{Aa} ±0.04	-0.21 ^{Dd} ±0.01
	25	0.01 ^{Cb} ±0.00	-0.20 ^{Ec} ±0.00	0.86 ^{Aa} ±0.00	-0.26 ^{Dd} ±0.01
b*	0	4.37 ^{Ab} ±0.01	5.01 ^{Aa} ±0.01	1.05 ^{Dd} ±0.00	3.86 ^{Ac} ±0.01
	5	3.80 ^{Bb} ±0.11	4.93 ^{Ba} ±0.02	1.07 ^{Dd} ±0.08	3.55 ^{Bc} ±0.03
	10	3.54 ^{Ca} ±0.09	3.36 ^{Cb} ±0.01	1.87 ^{Cc} ±0.01	3.43 ^{Cb} ±0.01
	15	2.01 ^{Dc} ±0.27	2.62 ^{Db} ±0.01	2.03 ^{Bc} ±0.01	3.41 ^{Ca} ±0.04
	20	1.50 ^{Ec} ±0.10	1.29 ^{Ed} ±0.10	2.04 ^{Bb} ±0.05	3.00 ^{Da} ±0.10
	25	-1.94 ^{Fd} ±0.07	1.06 ^{Fc} ±0.03	2.20 ^{Aa} ±0.01	1.60 ^{Eb} ±0.02

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผ่าน PT มีผลทำให้ค่า L^* สูงกว่าและ ค่า a^* น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจาก ค่า L^* และ ค่า a^* มีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมัน โดยการใช้ PT ทำให้เกิดการแตกตัวขององค์ประกอบในอาหาร อย่างไขมันและโปรตีน ส่งผลให้มีอนุภาคไขมันขนาดเล็กเพิ่มขึ้น (Korachi et al., 2015) จึงสามารถเพิ่มการกระจายตัวและการสะท้อนแสงได้ทำให้ความสว่างเพิ่มขึ้น (Chanamai & McClements, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khuenpet et al. (2016) พบว่า ปริมาณไขมันในกะทิ มีผลต่อค่า L^* และ a^* ของกะทิ จากผลการเปรียบเทียบระหว่าง กะทิสด(1), กะทิ UHT (2), กะทิที่เติมสารให้ความคงตัวและผ่าน UHT (3), กะทิที่ปราศจากไขมัน (skim coconut milk) ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และนำไปผ่าน UHT (4) และกะทิที่ปราศจากไขมัน (skim coconut milk) ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีการเติมสารให้ความคงตัวและผ่าน UHT (5) พบว่า ตัวอย่างกะทิ (1), (2) และ (3) จะมีปริมาณไขมันที่สูงกว่า ตัวอย่างกะทิ (4) และ (5) และพบว่าค่าสีของกะทิ (1), (2) และ (3) มีค่า L^* สูงกว่าและ ค่า a^* น้อยกว่า ตัวอย่างกะทิ (4) และ (5) นอกจากนี้ การใช้ PT มีผลทำให้ ค่า b^* สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจาก การแตกตัวขององค์ประกอบในอาหาร อย่างโปรตีนจากพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน ทำให้มีการเปิดออกของ side chain มากขึ้น มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดหรือการเกิด nonenzymatic browning ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้ง่ายขึ้น ทำให้มีค่า b^* ที่สูงขึ้น (Popov-Raljić et al., 2008)

และในระหว่างการเก็บรักษา ค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* ของตัวอย่างที่ผ่าน PT มีแนวโน้มที่ลดลง อาจเนื่องมาจากการเกิดอนุมูลอิสระที่ทำปฏิกิริยากับไขมันในกะทิ ผ่านกลไก Criegee mechanism ทำให้มีปริมาณไขมันที่ลดลงไปเกิดเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ozonides และ carboxylic acid เป็นต้น (Sarangapani et al., 2017) และเมื่อเวลาผ่านไป เกิดการสูญเสียสารสำคัญต่างๆ ในกะทิจากการเกิดปฏิกิริยา จึงทำให้ค่า L^* ค่า a^* และค่า b^* มีค่าลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.2 สมบัติทางเคมี

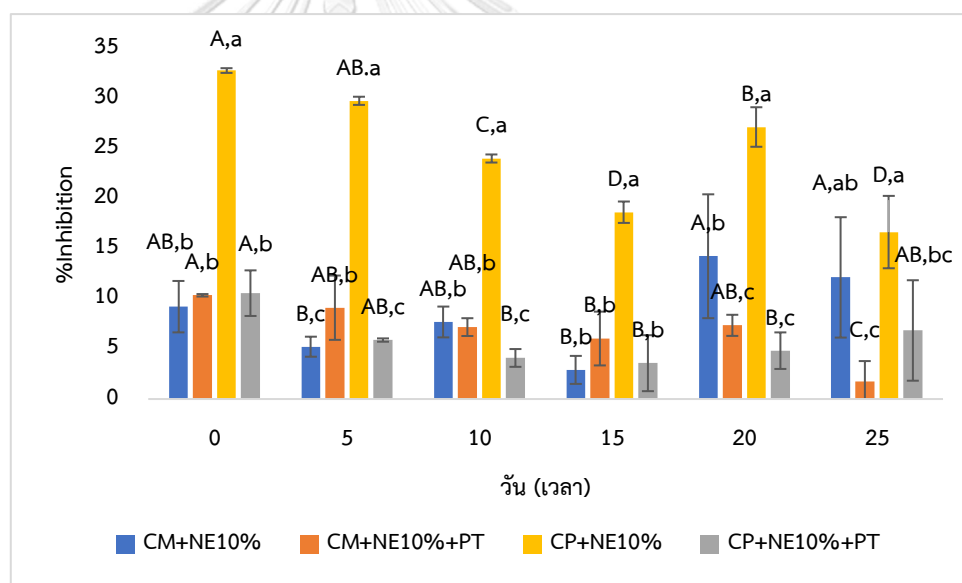
4.3.2.1 การต้านออกซิเดชันของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT: DPPH

assay

จากการศึกษาการต้านออกซิเดชัน (DPPH) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT พบว่าพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ CP+NE10% ลดลงจาก $32.79 \pm 0.24\%$ เป็น $10.57 \pm 2.28\%$ (CP+NE10%+PT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลในกะทิสดเติมนาโนอิมัลชัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับวันแรกของการเก็บรักษา ดังภาพที่ 4.13 เนื่องมาจาก การทำ PT ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเกิดขึ้น ดังนั้น เมื่ออนุมูลอิสระมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ DPPH ได้ลดลง ส่งผลให้ผลการต้านออกซิเดชันของกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ผลของ PT ที่มีต่อการต้านออกซิเดชันก็ขึ้นกับหลายปัจจัย นั่นคือ ตัวอย่างอาหาร กระบวนการผลิตพลาสมา และชนิดของก๊าซ เป็นต้น (Saremnezhad et al., 2021) จึงทำให้กะทิ

สดที่เติมนาโนอิมัลชันไม่มีการลดลง เมื่อผ่าน PT ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coutinho et al. (2019) พบว่า PT ที่ใช้เวลา 5-15 นาที และมีอัตราการไหลของก๊าซ 10 ml/min และที่เวลา 5-10 นาที และมีอัตราการไหลของก๊าซ 30 ml/min ในนมช็อคโกแลตที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ไม่ส่งผลต่อการต้านออกซิเดชัน (DPPH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ที่เวลา 10 และ 15 นาที และมีอัตราการไหลของก๊าซ 20 และ 30 ml/min ตามลำดับ ผลasmaที่ไม่ใช้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของค่าการต้านออกซิเดชัน

ในระหว่างการเก็บรักษา ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มของการต้านออกซิเดชันที่ลดลง จนกระทั่งถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เนื่องมาจาก เมื่อเวลาผ่านไป สารสำคัญในกะทิอาจมีการสูญเสียไป เช่น สารในกลุ่มฟีนอล เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารฟีนอลและอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species) จาก PT จึงทำให้ PT มีผลทำให้ค่าการต้านออกซิเดชันลดลง เมื่อเวลาผ่านไป (Sruthi et al., 2022) แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบว่า แต่ละตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์การต้านออกซิเดชันที่กลับมาเพิ่มขึ้นในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจาก ปฏิกิริยาการจับอนุมูล DPPH สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับระหว่างอนุมูลอิสระ DPPH และสารฟีนอลบางชนิดได้ (Almeida et al., 2011) ดังนั้น เมื่อปริมาณสารฟีนอลิกในตัวอย่างลดลงถึงจุดหนึ่ง การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจึงเกิดลดลง ส่งผลให้มีค่าการต้านออกซิเดชันที่กลับมาเพิ่มขึ้น

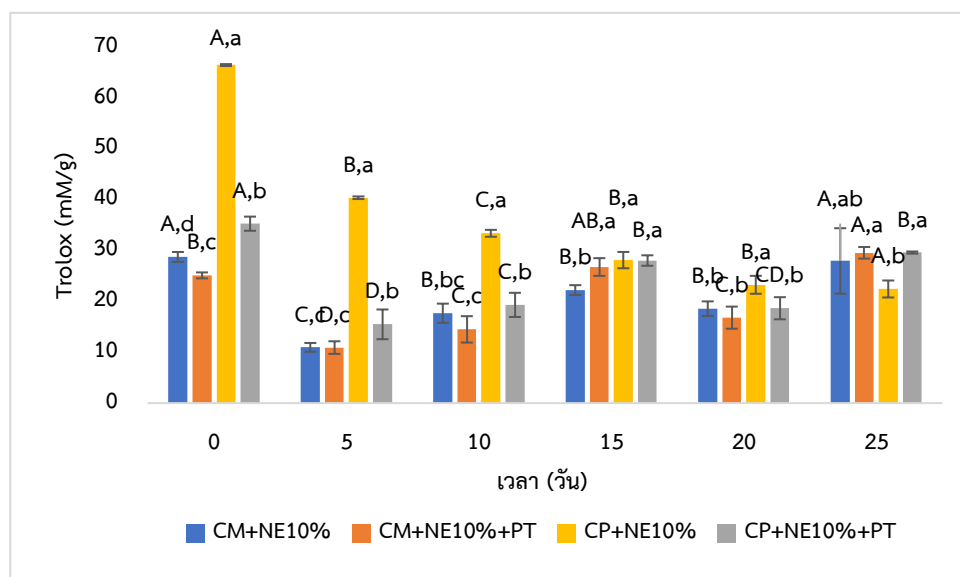


ภาพที่ 4.8 %inhibition ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C โดย a, b,... บอกถึงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน และ A, B,...บอกถึงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

4.3.2.2 การต้านออกซิเดชันของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT: FRAP

assay

จากผลการทดลองการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP พบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา PT มีผลต่อค่าการต้านออกซิเดชันของตัวอย่าง CM+NE10% (จาก 28.74 ± 0.98 mM/g ลดลงเป็น 25.12 ± 0.58 mM/g) และ CP+NE10% (จาก 66.48 ± 0.19 mM/g ลดลงเป็น 35.28 ± 1.39 mM/g) และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาในช่วง 0-15 วัน และเมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน CM+NE10% และ CP+NE10% ที่ผ่าน PT มีค่าการต้านออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็น 26.77 ± 1.74 mM/g และ 28.04 ± 1.23 mM/g ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14 อาจเนื่องมาจาก การรับ PT ทำให้นาโนอิมัลชันบริเวณชั้นของสารอินทรีย์ (organic layer) ถูกทำลายไปบางส่วน (Jean et al., 2016) อาจส่งผลให้เกิดอิเล็กโทรพอเลชัน (electroporation) ทำให้สารฟีนอลิกจากน้ำมันหอมระเหยวานิลลาถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายขึ้น (Brisset et al., 2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ji et al. (2020) พบว่า การใช้ PT กับผลไม้ blueberry ทำให้สารฟีนอลิกในผลไม้เพิ่มขึ้นในวันที่ 20 ของการเก็บ จึงทำให้มีค่าการต้านออกซิเดชันสูงขึ้นในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างจากค่าการต้านออกซิเดชันจากวิธี DPPH เนื่องจาก การวัดด้วยวิธี DPPH มีข้อจำกัดของการเกิดปฏิกิริยา ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ (Almeida et al., 2011) จึงอาจจะทำให้มีค่าการต้านออกซิเดชันที่ลดลงในวันที่ 15 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheong et al. (2018) ที่ทำการศึกษาเสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและการต้านออกซิเดชันในนาโนอิมัลชันที่อุณหภูมิต่างๆ และพบว่าที่อุณหภูมิ 4°C ค่าการต้านออกซิเดชันของนาโนอิมัลชันด้วยวิธี ABTS assay มีค่าลดลงใน 2 สัปดาห์แรก และสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 ในขณะที่การวัดการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay มีค่าเพิ่มขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก และมีเปอร์เซ็นต์การต้านออกซิเดชันที่ลดลงหลังจกสัปดาห์ที่ 2 จะพบว่าค่าการต้านออกซิเดชันของทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มที่ตรงข้ามกัน จากการทดลองของงานวิจัยนี้ จึงใช้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนเหตุผลข้างต้น ดังนั้น จากผลการทดลองในภาพที่ 4.14 อาจแสดงให้เห็นว่ากะทิพาสเจอร์ไรส์/ไม่พาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันผ่าน PT มีกลไกในการต้านออกซิเดชัน โดยการให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่าการให้ไฮโดรเจนอะตอม เนื่องจากสารประกอบในวานิลลาส่วนใหญ่ เช่น monohydroxy benzoic acid ไม่แสดงความสามารถในการให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระ แต่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ผ่านการเกิด hydroxylation (Rojas-López & Ca, 2013)



ภาพที่ 4.9 การต้านออกซิเดชัน (FRAP) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4° C โดย a,b,... บอกถึงตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน และ A, B,...บอกถึงตัวอย่างหนึ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

4.3.2.3 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

การวัดค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์/ไม่พาสเจอร์ไรส์ที่เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.14 ค่า Peroxide value (meq O₂/kg) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 ° C

เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
0	0.96 ^{Cb} ±0.02	0.00 ^{Ec} ±0.00	5.44 ^{Aa} ± 0.32	0.00 ^{Dc} ±0.00
5	3.01 ^{Ba} ±0.70	1.19 ^{Dbc} ±0.46	0.71 ^{Dc} ± 0.25	1.70 ^{Cb} ±0.21
10	4.76 ^{Aa} ±1.30	3.00 ^{Cb} ±0.51	4.94 ^{Aa} ± 0.39	2.15 ^{Cb} ±0.50
15	4.19 ^{ABa} ±0.86	3.40 ^{BCa} ±0.62	3.01 ^{Ba} ± 0.44	3.58 ^{Ba} ±0.86
20	3.12 ^{Bb} ±0.42	4.09 ^{Ba} ±0.55	2.12 ^{Cd} ± 0.50	3.45 ^{Bab} ±0.24
25	1.23 ^{Cc} ±0.55	9.25 ^{Aa} ±0.98	0.94 ^{Dc} ±0.01	5.27 ^{Ab} ±1.35

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า PT มีผลทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลงในวันแรกของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก PT ทำให้เกิด reactive species เช่น free radical และ reactive oxygen species ซึ่งสารเหล่านี้ที่เกิดขึ้นก็สามารถรับไฮโดรเจนอะตอมจากสารต้านออกซิเดชันในกะทิ นอกจากนี้ สารเหล่านี้ยังมีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในวันแรกของการเก็บรักษา มีการลดลง 2-4 log (CFU/ml) ดังนั้น มีความเป็นไปได้ที่ reactive species นอกจากทำหน้าที่ในการยับยั้งจุลินทรีย์แล้ว และยังเพียงพอต่อการเกิดออกซิเดชันผ่านกลไก Criegee mechanism ได้ ozonide และ carboxylic acid (Sarangapani et al., 2017) ส่งผลให้การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยา lipid oxidation ลดลง ส่งผลให้สารเพอร์ออกไซด์ลดลงในช่วงแรก

ในระหว่างการเก็บรักษา ตัวอย่างที่ผ่าน PT มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก การใช้ PT ก็ทำให้เกิดการแตกตัวของไขมัน (Wu et al., 2021) ทำให้ไขมันมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจาก PT ในขณะที่ CM+NE10% และ CP+NE10% ในระหว่างการเก็บรักษา มีการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ อาจเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญในกะทิ เช่น ในกะทิมีสารในกลุ่มฟีนอลิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid), คาเทชิน (catechin) (Nadeeshani et al., 2015) โดยสารฟีนอลิกเหล่านี้สามารถเกิดออกซิเดชันและเกิดสารเปอร์ออกไซด์ได้ (Ofoedu et al., 2021) จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์มีการลดลงและเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา ประกอบกับการปลดปล่อยสารสำคัญของนาโนอิมัลชันอย่างสารในกลุ่มฟีนอลิก ซึ่งสามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก่อนเปลี่ยนเป็นสารเปอร์ออกไซด์ได้ จึงอาจทำให้สารเปอร์ออกไซด์ลดลงในเวลาต่อมา แต่อย่างไรก็ตาม ในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation เมื่อสารเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งและจะมีปริมาณลดลงจากการเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้น termination ซึ่งสามารถวัดได้จากการวิเคราะห์ 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ในหัวข้อต่อไป

4.3.2.4 ค่า thiobarbituric acid

การวัด TBA บ่งบอกถึงการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยา lipid oxidation โดยรายงานการเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 nm ของสารกลุ่มที่สามารถทำปฏิกิริยากับ TBA ได้ซึ่งเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้น termination ของปฏิกิริยา lipid oxidation โดยผลการวัด ค่า TBA ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.15 ค่า thiobarbituric acid (mg^{-1}) ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C

เวลา (วัน)	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
0	0.12 ^{Ab} ±0.03	0.18 ^{Aa} ±0.02	0.16 ^{Aa} ± 0.03	0.15 ^{Aab} ±0.00
5	0.13 ^{Aa} ±0.03	0.06 ^{Ca} ±0.00	0.12 ^{Ba} ± 0.05	0.12 ^{ABa} ±0.08
10	0.10 ^{Ab} ±0.01	0.05 ^{Cb} ±0.00	0.04 ^{Cb} ± 0.02	0.17 ^{Aa} ±0.06
15	0.15 ^{Aa} ±0.07	0.14 ^{Bab} ±0.02	0.01 ^{Cc} ± 0.00	0.08 ^{Bb} ±0.01
20	0.09 ^{Ba} ±0.00	0.02 ^{Dc} ±0.01	0.05 ^{Cb} ± 0.01	0.03 ^{Bc} ±0.02
25	0.00 ^{Cb} ±0.00	0.01 ^{Db} ±0.00	0.07 ^{Ca} ± 0.01	0.01 ^{Bb} ±0.00

*a, b,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวนอน แสดงตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการเก็บรักษาแต่ละวัน

*A, B,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงตัวอย่างหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างวันของการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า ค่า TBA ของตัวอย่าง CM+NE10%+PT ซึ่งผ่าน PT ในวันที่ 0 มีค่าสูงกว่า CM+NE10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ CM+NE10%+PT และ CP+NE10%+PT มีแนวโน้มที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยจะพบว่าค่า TBA และค่าเปอร์ออกไซด์ ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับในทฤษฎี คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อเพิ่มถึงจุดหนึ่งจะลดลง ในขณะที่มีค่า TBA เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิด lipid oxidation เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แสง ความร้อน โลหะ หรือเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองของไขมันกับออกซิเจน ผ่านปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ initiation, propagation และ termination โดยในขั้น initiation จะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระที่จะทำให้เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ในขั้นที่ 2 จากนั้นเปอร์ออกไซด์จึงเกิดปฏิกิริยาต่อเป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ (Gavahian et al., 2018) ที่สามารถทำปฏิกิริยาได้กับ TBA แต่อย่างไรก็ตาม การผ่าน PT ทำให้มีค่า TBA สูงในช่วงแรก แต่ไม่พบปริมาณเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก พลาสมาสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของโปรตีน ทำให้โปรตีนในกะทิเกิดการเสียสภาพคลายตัวออกมา ซึ่ง TBA สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนเหล่านี้ได้ (Guillen-Sans & Guzman-Chozas, 1998) ดังนั้นค่า TBA ที่เกิดขึ้นจึงอาจมาจากสารอื่นที่สามารถทำปฏิกิริยากับ TBA ไม่ได้มาจากสารในกลุ่มแอลดีไฮด์จากการเกิด lipid oxidation เท่านั้น

เมื่อเวลาผ่านไป ทุกตัวอย่างมีค่า TBA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจาก เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารอาหารในกะทิเกิดการสูญเสียไปจากการที่จุลินทรีย์ใช้สารอาหารเพื่อการเจริญ รวมถึงโปรตีนที่ถูกออกซิไดซ์จากการเกิด PT ทำให้มีสารที่จะเกิดปฏิกิริยากับ TBA น้อยลง แนวโน้มของค่า TBA จึงลดลง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าค่า TBA ของแต่ละตัวอย่างมีค่าที่ผันผวนอยู่บ้าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sivakanthan et al. (2018) ที่ศึกษาเปรียบเทียบความคงตัวของน้ำมันมะพร้าวกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า ค่า TBARS ของน้ำมันมะพร้าวมีความผันผวนในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน

4.3.3 ปริมาณจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

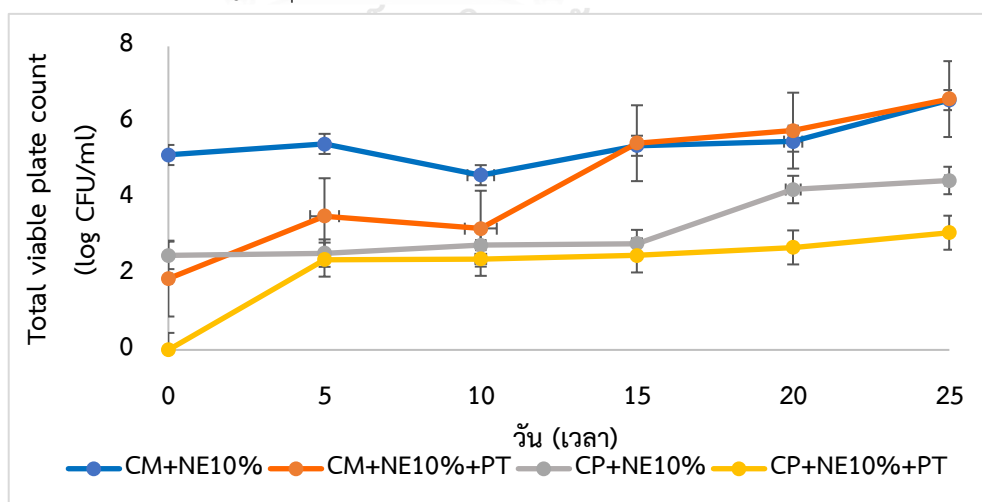
งานวิจัยนี้เลือกใช้ PT ของก๊าซอาร์กอน เนื่องจาก งานวิจัยของ Hajhoseini et al. (2020) และ Lee et al. (2012) พบว่า PT โดยการใช้ก๊าซ ฮีเลียม และ ฮีเลียมผสมกับออกซิเจน ส่งผลทำให้เกิด reactive species เช่น OH, O, และ N_2 มากกว่าการใช้ก๊าซอาร์กอน (Wang et al., 2016) ซึ่งอาจมีผลต่อรสชาติและกลิ่นของอาหารได้ นอกจากนี้พบว่า การใช้ก๊าซอาร์กอนในการผลิต PT มีผลต่อการลดลงของ *S.aureus* ได้มากกว่า การใช้ก๊าซฮีเลียม ซึ่ง *S.aureus* เป็นหนึ่งในจุลินทรีย์ก่อโรคที่พบได้ในกะทิ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ก๊าซอาร์กอนในการผลิต PT

จากผลการใช้ PT ใน CM+NE และ CP+NE พบว่า CM+NE10%+PT และ CP+NE10%+PT มีจำนวนจุลินทรีย์ลดลงจาก 5.14 log CFU/ml เป็น 1.89 log CFU/ml โดยใน CM+NE10% (5.14 log CFU/ml) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นที่สูง เนื่องจากว่ากะทิมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลายปัจจัย นั่นคือ จุลินทรีย์ที่อยู่ในอากาศสามารถเข้ามาปนเปื้อนในกะทิได้ในระหว่างการคั้น นอกจากนี้ ในกระบวนการคั้น จุลินทรีย์อาจปนเปื้อนมาจากผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น แม้มีการเติมนานอิมัลชันที่มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ แต่อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดของมาตรฐานอุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป และจาก 2.49 log CFU/ml เป็น 0.00 log CFU/ml ตามลำดับ ในวันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจาก PT เกิดขึ้นจากโมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) โดยเป็นสถานะ

ที่ 4 ของสสาร ซึ่งพลาสมาจะประกอบไปด้วย อิเล็กตรอน อะตอม โมเลกุล ไอออนที่มีประจุทางไฟฟ้า และ reactive species (Misra & Jo, 2017) ซึ่ง reactive species ที่เกิดขึ้น สามารถทำให้เกิด cell leakage ส่งผลโดยตรงต่อ DNA โดยทำให้เกิดการปลดปล่อย DNA ของจุลินทรีย์ออกนอกเซลล์ (Coutinho et al., 2018; Moreau et al., 2008) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ponraj et al. (2017) ที่พบว่าการใช้พลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน ด้วยวิธี Dielectric barrier discharge และใช้ก๊าซอาร์กอน ในผลิตภัณฑ์ dairy product เช่น นม สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ความร้อนโดยการพาสเจอร์ไรส์ เนื่องจาก PT ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารภายในจุลินทรีย์ ทำให้เซลล์ตาย

ระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณของจุลินทรีย์ในแต่ละตัวอย่าง (CM+NE10%, CM+NE10%+PT, CP+NE10% และ CP+NE10%+PT) เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่ผ่าน PT มีการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ช้ากว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่าน PT พบว่า CP+NE10%+PT สามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น ประมาณ 5 วัน เมื่อเทียบกับ CP+NE10% โดยมีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 3.09 log CFU/ml ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ซึ่งไม่เกินที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูปกำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้เป็น 4.30 log CFU/ml แต่ตรวจพบยีสต์และรา ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ CP+NE10% ตรวจพบยีสต์และรา ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา โดยไม่พบ *coliform* และ *E.coli* ในทุกตัวอย่างเกินที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) ตลอดการเก็บรักษา สำหรับ CM+NE10% มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 5.14 log CFU/ml และเพิ่มขึ้นเป็น 6.59 log CFU/ml ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seow and Gwee (1997) และ KAJIS et al. (1976) ที่พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกะทิเริ่มต้นอยู่ที่ 4.70 log CFU/ml และเพิ่มเป็น 8.46 log CFU/ml ขึ้นกับองค์ประกอบในกะทิ และกระบวนการสกัดหรือการคั้นกะทิ (Tarek et al., 2020) ในขณะที่ CM+NE10%+PT มีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 1.89 log CFU/ml และเพิ่มขึ้นเป็น 6.62 log CFU/ml ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

สรุปได้ว่าการใช้ PT ทำให้จุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างเจริญได้ช้ากว่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่าน PT เนื่องจาก PT สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้



ภาพที่ 4.10 จำนวนจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C

4.3.4 การวิเคราะห์สารระเหยของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT

จากผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่เกิดขึ้นในกะทิที่เติมนาโนอิมัลชันผ่าน PT ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า กะทิสด มีสารระเหย Eicosane และ 2H-pyran-2-one ซึ่งเป็นสารระเหยที่พบในกะทิ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (S. Kokilavani, 2017) ที่ทำการศึกษาสารระเหยให้กลิ่นในกะทิ และพบสารระเหย Eicosane และ 2H-pyran-2-one ในกะทิสดและในตัวอย่างที่ผ่านการปรุงแต่งกลิ่นกะทิ แต่ไม่พบในกะทิทางการค้า อาจเนื่องมาจากสารระเหยถูกทำลาย จากการให้ความร้อนในการแปรรูป (Wang et al., 2020) แต่เมื่อเติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา ทำให้สารระเหยที่เป็นลักษณะเฉพาะของกะทิในตัวอย่างมีมากขึ้น ซึ่งมาจากน้ำมันหอมระเหยวานิลลา นั่นคือ vanillin, Coumarin และ Ethyl vanillin โดย Coumarin และ Vanillin ให้กลิ่นที่หอม เป็นกลิ่นหอมของฝัควานิลลา (Lončar et al., 2020) โดยสารอย่าง Coumarin ที่พบในวานิลลาก็มีกลิ่นที่คล้ายกับสารระเหยให้กลิ่นที่พบในกะทิ เช่น สารในกลุ่ม lactone (Venugopala et al., 2013) ดังนั้น การเติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาลงไปกะทิ นอกจากไม่ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นเฉพาะของกะทิแล้ว ยังช่วยเสริมกลิ่นของกะทิให้หอมมากขึ้น

เมื่อนำกะทิที่เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลามาผ่าน PT จะพบว่า สารระเหยให้กลิ่นไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก แต่จะพบว่าไขมันที่มีอยู่ในกะทิมีการลดลงหลังจากผ่าน PT ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ PT ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันผ่านกลไก Crigree mechanism เปลี่ยนไขมันเป็นผลิตภัณฑ์อื่น (Sarangapani et al., 2017) นอกจากนี้ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนกรดไขมันสายยาวเป็นกรดไขมันสายสั้นได้ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic effect) (Korachi et al., 2015) จึงทำให้ไขมันลดลงได้ อย่างไรก็ตาม การที่ PT ทำให้ไขมันลดลงและช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ ส่งผลดี คือ ช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้ โดยไม่ต้องใช้วัตถุกันเสีย ซึ่งผู้บริโภคปัจจุบันหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดจากการใช้วัตถุกันเสียในอาหาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยของ CM+NE10% และ CP+NE10% และผ่าน PT

Name of compound	Area %					
	CM	CM+NE10%	CM+NE10%+PT	CP	CP+NE10%	CP+NE10%+PT
Benzaldehyde	nd	1.96	4.36	0.68	0.32	0.17
Benzyl alcohol	nd	54.2	55.47	13.49	54.67	53.01
Nonanal	nd	nd	nd	nd	nd	0.16
1-propanal	nd	1.3	1.19	nd	1.33	1.37
Benzaldehyde, 4-methoxy	nd	15.01	12.97	nd	7.24	10.74
2H-pyran-2-one, tetrahydro-6-propyl-	5.73	0.33	nd	nd	nd	0.31
Vanillin	nd	3.73	3.41	nd	1.65	2.56
Eicosane	1.03	nd	nd	nd	nd	0.12
Coumarin	nd	0.8	0.83	nd	0.29	0.5

2-methyl	nd	nd	nd	0.73	nd	nd
Ethyl vanillin	nd	0.16	nd	nd	nd	0.17
delta-Dodecalactone	nd	nd	0.25	nd	nd	0.3
Ethyl ester	nd	nd	nd	nd	nd	0.21
1-decanol, 2-hexyl-	nd	nd	nd	2.03	nd	nd
Hexadecane	nd	nd	nd	1.02	nd	0.09
Corydaldine	nd	nd	nd	2.55	nd	nd
Eicosyl	nd	nd	nd	0.94	nd	nd
pentafluoropropionate	nd	nd	nd	0.94	nd	nd
4-Trifluoromethylbenzoic acid	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzyl benzoate	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Thiophen-2-methylamine	nd	nd	nd	nd	nd	nd
3-methyl-	18.07	nd	nd	nd	nd	nd
Octasiloxane	nd	nd	nd	nd	24	nd
Caprylic acid	nd	nd	nd	5.79	0.3	0.07
Capric acid	nd	nd	nd	1.74	nd	nd
Palmitic Acid	nd	nd	nd	2.81	nd	nd
Lauric acid	nd	0.4	1.73	nd	0.16	0.16
Myristic acid	nd	1.15	0.88	nd	nd	nd

*nd = not detected

สำหรับกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ มีสารระเหยสำคัญที่พบ คือ Benzaldehyde, 2-methyl, 7-Methyl-2-phenyl-1H-indole, 1-Decanol, Hexadecane, Corydaldine, Eicosyl pentafluoropropionate, 7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane, 1,5-dimethyl ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kokilavani et al. (2017) และงานวิจัยของ Wang et al. (2020) ที่พบศึกษาสารระเหยในกะทิที่ผ่านการให้ความร้อน และพบสารระเหย Benzaldehyde, 2-methyl, 1-Decanol และสารให้กลิ่นแอลเคน แต่เมื่อเติมน้ำมันอัลซันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลา จะพบว่าจะมีสารระเหยจากน้ำมันหอมระเหยวานิลลา เช่น Benzaldehyde, Benzyl alcohol, 3-phenylpropanol, 4-methoxy, Vanillin, Coumarin, Benzyl Benzoate, Octasiloxane ซึ่งช่วยให้กลิ่นในตัวอย่างกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มีกลิ่นหอมมากขึ้น

การผ่าน PT ในตัวอย่างกะทิพาสเจอร์ไรส์ที่เติมน้ำมันอัลซัน จะพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่เกิดขึ้นใหม่เกิดขึ้น อย่าง Nonanal, delta.-Dodecalactone ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coutinho et al. (2019) ที่ศึกษาการใช้พลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนกับนมช็อคโกแลตและพบว่ากระบวนการผลิตพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนที่สถานะไม่สูงและไม่ต่ำเกินไป มีผลทำให้สารระเหยในกลุ่มของสารคีโตน (ketone), แล็กโตน (lactone) และเอสเทอร์ (ester) ในนมช็อคโกแลตเพิ่มขึ้น ซึ่ง Nonanal, delta.-Dodecalactone เป็นสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญที่

พบในกะทิ (Wang et al., 2020) ดังนั้น การใช้ PT ในสภาวะที่เหมาะสมกับตัวอย่าง มีผลช่วยรักษากลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของกะทิได้เช่นเดียวกัน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

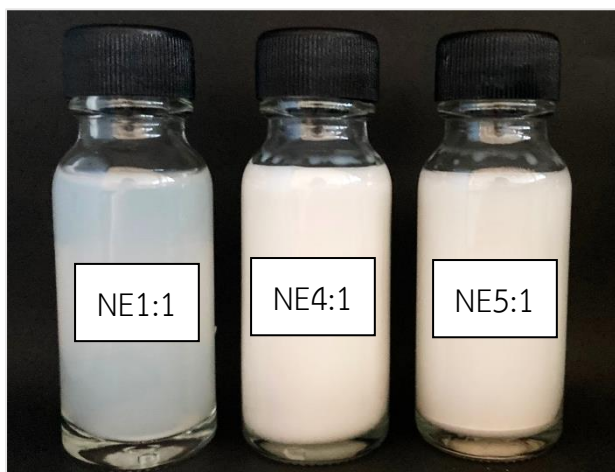
จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมนาน้ำมันหอมระเหยวานิลลาโดยวิธีอัตราไซนิเคชัน พบว่า การใช้อัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาต่อสารให้ความคงตัว Tween80 เท่ากับ 1:1 เป็นสูตรที่เหมาะสม โดยคัดเลือกขนาดอนุภาคที่เล็ก, การกระจายตัวของอนุภาคที่ต่ำ, สมบัติการต้านออกซิเดชัน และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ที่สูง เนื่องจาก ขนาดนาโนอิมัลชันที่เล็กและการกระจายตัวของอนุภาคที่ต่ำ ทำให้พื้นที่ผิวของหยดไขมันสูงขึ้น การนำส่งสาร (delivery) สำคัญในน้ำมันหอมระเหยวานิลลาเกิดได้ดีขึ้น จึงช่วยเพิ่มสมบัติการต้านออกซิเดชัน และการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และสูตรนี้ถูกนำไปใช้เพื่อศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของนาโนอิมัลชันในกะทิพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งพบว่านาโนอิมัลชัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงวิทยาศาสตร์, การแยกชั้นน้ำมัน, การแยกชั้นครีม และค่าสีของกะทิ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทำให้ค่าการต้านออกซิเดชันในกะทิพาสเจอร์ไรส์เพิ่มขึ้น และค่าเพอร์ออกไซด์และค่า TBA ลดลง โดยพบว่าการใช้นาโนอิมัลชัน 10% (v/v) เป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ในกะทิพาสเจอร์ไรส์ได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบสารระเหยบางตัวในกะทิที่เติมนาน้ำมันหอมระเหยวานิลลา เมื่อเทียบกับกะทิที่ไม่เติมนาน้ำมันหอมระเหยวานิลลา แต่พบสาร coumarin ที่คล้ายกับสารระเหยให้กลิ่นในกะทิ ซึ่งมีกลิ่นที่สามารถเข้ากับกะทิได้ เมื่อศึกษาผลของการใช้ PT ในกะทิที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ (CP) และไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ (CM) ที่เติมนาน้ำมันหอมระเหยวานิลลาจากสูตรที่เหมาะสม พบว่า PT ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมคาร์ไล แต่มีผลทำให้การแยกชั้นครีมเพิ่มขึ้นของ CM+NE10% และ CP+NE10% ในระหว่างการเก็บรักษา และทำให้ CM+NE10% มีการแยกชั้นน้ำมันเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากผ่านการให้ความร้อน ทำให้โปรตีนในกะทิเสียสภาพ และเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวระหว่างไขมันกับน้ำ จึงช่วยขัดขวางการรวมตัวของหยดไขมันได้ แต่การใช้ PT ทำให้ไขมันแตกตัว และเกิดการรวมตัวและแยกชั้นได้ และการใช้ PT ใน CP+NE10% มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสี และทำให้ค่าการต้านออกซิเดชันและค่า PV ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ลดลง เนื่องจากเกิดอนุมูลอิสระจาก PT และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันผ่านกลไก Criegee mechanism ส่งผลให้การรวมตัวกันของอนุมูลอิสระเกิดเป็นสารเพอร์ออกไซด์ลดลง นอกจากนี้ ค่า TBA ของแต่ละตัวอย่างมีค่าที่ผันผวน เนื่องจาก PT ทำให้เกิดการแตกตัวของโปรตีน ทำให้โปรตีนในกะทิเกิดการเสียสภาพคลายตัวออกมา ซึ่ง TBA สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนเหล่านี้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ PT ส่งผลดีต่อกะทิคือ ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ของ CM+NE10% และ CP+NE10% ลดลง และทำให้ไขมันถูกออกซิไดซ์ผ่านกลไก Criegee mechanism ทำให้เกิดการแตกตัวของไขมัน นอกจากนี้ ทำให้มีสารระเหยที่ให้กลิ่นที่ให้กลิ่นที่สำคัญในกะทิเกิดขึ้น นั่นคือ delta-Dodecalactone และ Nonanal จึงช่วยรักษากลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของกะทิได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ได้มีการค้นพบสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมนาน้ำมันหอมระเหยวานิลลาและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ยึดอายุกะทิพาสเจอร์ไรส์ นอกจากนี้ พบว่า การใช้เทคโนโลยีร่วมกันระหว่าง PT, นาโนอิมัลชัน และการพาสเจอร์ไรส์ สามารถช่วยส่งเสริมสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ แต่อาจส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและทางเคมีได้แตกต่างกัน ขึ้นกับ องค์ประกอบของอาหาร และสภาวะของ PT จึงควรเลือกให้เหมาะกับ

การนำไปใช้งาน ดังนั้น ผลจากงานวิจัยนี้จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำนาโนอิมัลชันและ PT ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บของกะทิได้ ซึ่งจะช่วยลดการใช้สารกันเสียหรือสารเคมีสังเคราะห์ ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารต่อไป นอกจากนี้ การใช้พลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนยังช่วยเพิ่มสารให้กลิ่นที่สำคัญในกะทิ เช่น Nonanal และ delta-Dodecalactone ได้

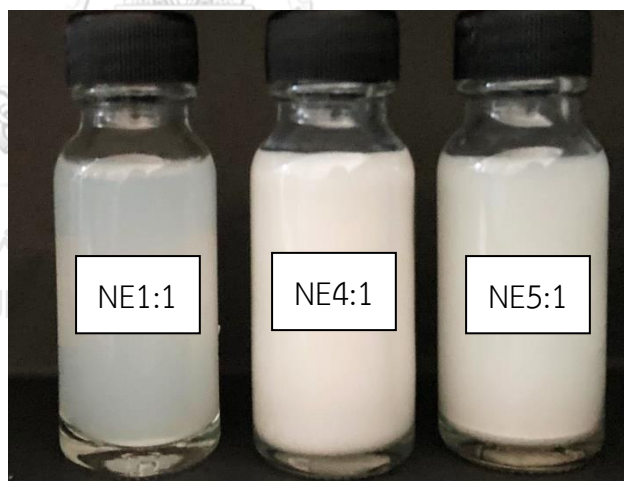


ภาคผนวก ก

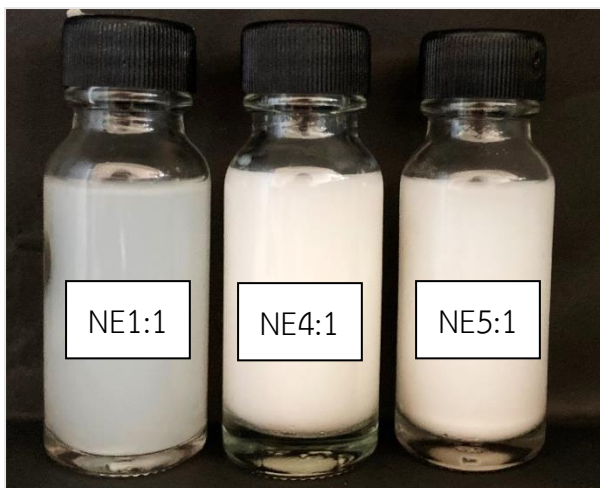
ภาพประกอบงานวิจัย



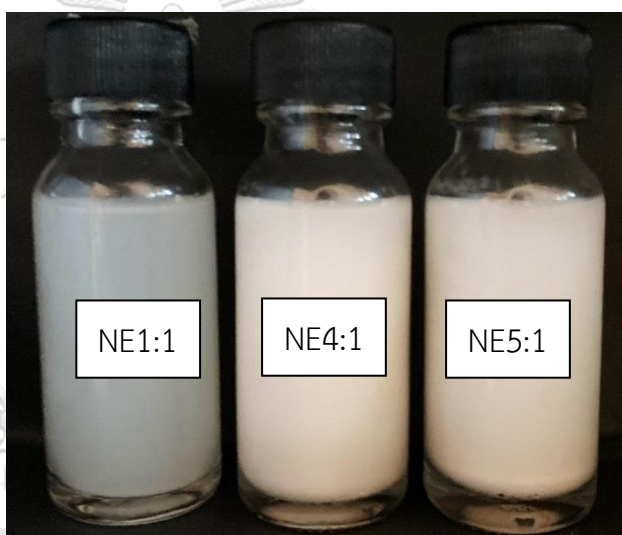
ภาพที่ ก.1 นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา



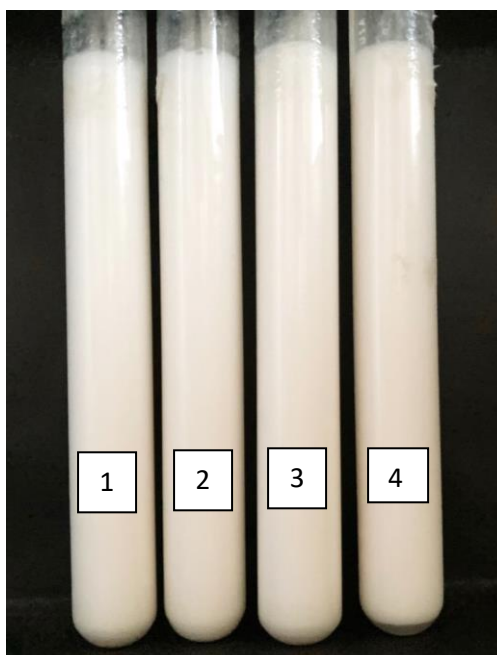
ภาพที่ ก.2 นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ ก.3 นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา



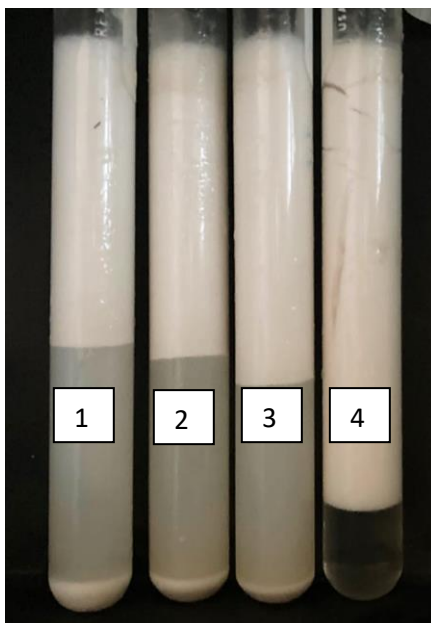
ภาพที่ ก.4 นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา



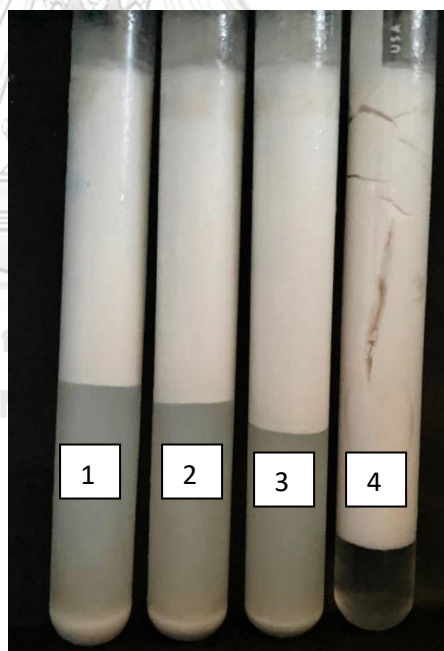
ภาพที่ ก.5 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร (1=CP+NE5%, 2=CP+NE10%, 3=CP+NE20% และ 4=CP) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา



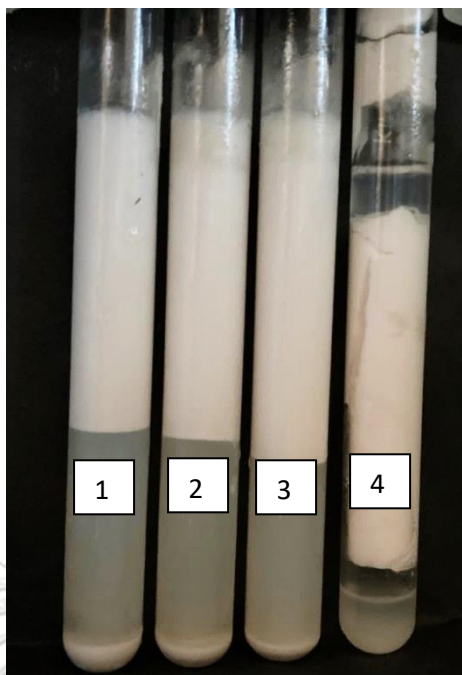
ภาพที่ ก.6 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร (1=CP+NE5%, 2=CP+NE10%, 3=CP+NE20% และ 4=CP) ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ ก.6 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร (1=CP+NE5%, 2=CP+NE10%, 3=CP+NE20% และ 4=CP) ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา



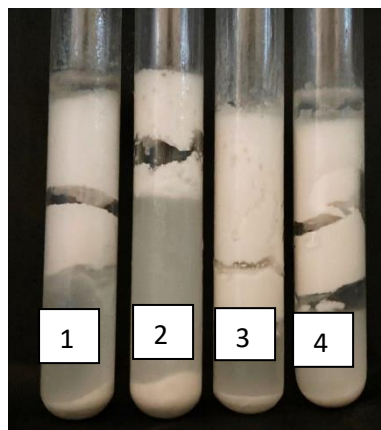
ภาพที่ ก.7 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร (1=CP+NE5%, 2=CP+NE10%, 3=CP+NE20% และ 4=CP) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา



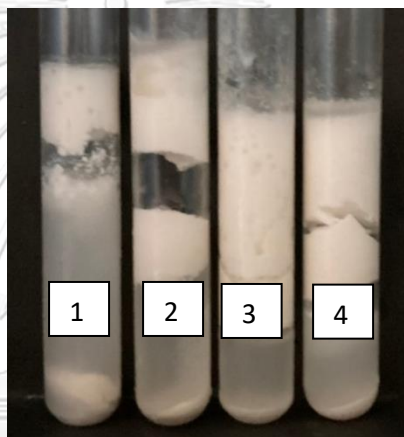
ภาพที่ ก.8 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาทั้ง 3 สูตร (1=CP+NE5%, 2=CP+NE10%, 3=CP+NE20% และ 4=CP) ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา



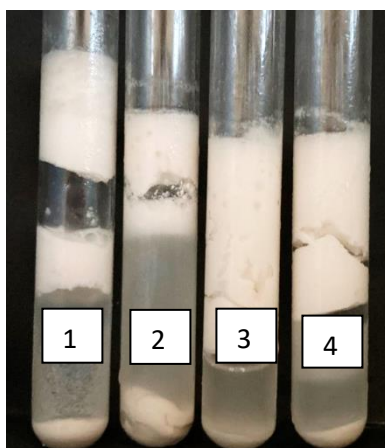
ภาพที่ ก.9 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา



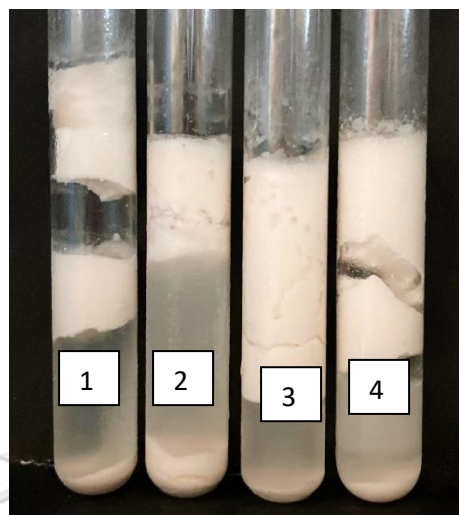
ภาพที่ ก.10 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา



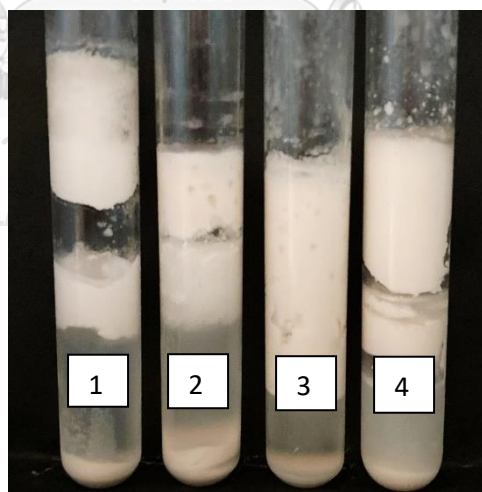
ภาพที่ ก.10 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสมาที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ ก.11 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ ก.12 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ ก.13 กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน (1=CP+NE10%, 2=CM+NE10%, 3=CM+NE10%+Plasma และ 4=CP+NE10%+Plasma) ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7552.687 ^a	2	3776.343	268.864	.000
Intercept	310137.610	1	310137.610	22080.836	.000
trt	7552.687	2	3776.343	268.864	.000
Error	84.273	6	14.046		
Total	317774.570	9			
Corrected Total	7636.960	8			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .985)

ตารางที่ ค.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30655.410 ^a	2	15327.705	1047.587	.000
Intercept	453184.776	1	453184.776	30973.368	.000
trt	30655.410	2	15327.705	1047.587	.000
Error	87.789	6	14.631		
Total	483927.975	9			
Corrected Total	30743.199	8			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	233696.642 ^a	2	116848.321	6320.301	.000
Intercept	951275.111	1	951275.111	51454.270	.000
trt	233696.642	2	116848.321	6320.301	.000
Error	110.927	6	18.488		
Total	1185082.680	9			
Corrected Total	233807.569	8			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของขนาดอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 30 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	255747.816 ^a	2	127873.908	1067.039	.000
Intercept	1241961.654	1	1241961.654	10363.498	.000
trt	255747.816	2	127873.908	1067.039	.000
Error	719.040	6	119.840		
Total	1498428.510	9			
Corrected Total	256466.856	8			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.120 ^a	2	.060	35.805	.000
Intercept	.752	1	.752	448.223	.000
trt	.120	2	.060	35.805	.000
Error	.010	6	.002		
Total	.883	9			
Corrected Total	.130	8			

a. R Squared = .923 (Adjusted R Squared = .897)

ตารางที่ ค.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.086 ^a	2	.043	66.948	.000
Intercept	.618	1	.618	957.493	.000
trt	.086	2	.043	66.948	.000
Error	.004	6	.001		
Total	.708	9			
Corrected Total	.090	8			

a. R Squared = .957 (Adjusted R Squared = .943)

ตารางที่ ค.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.268 ^a	2	.134	5465.828	.000
Intercept	1.242	1	1.242	50568.548	.000
trt	.268	2	.134	5465.828	.000
Error	.000	6	2.456E-5		
Total	1.510	9			
Corrected Total	.269	8			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการกระจายตัวของอนุภาคของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 30 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.287 ^a	2	.143	70.868	.000
Intercept	1.564	1	1.564	773.022	.000
trt	.287	2	.143	70.868	.000
Error	.012	6	.002		
Total	1.863	9			
Corrected Total	.299	8			

a. R Squared = .959 (Adjusted R Squared = .946)

ตารางที่ ค.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	651390.921 ^a	3	217130.307	155410.031	.000
Intercept	2702341.965	1	2702341.965	1934188.982	.000
trt	651390.921	3	217130.307	155410.031	.000
Error	11.177	8	1.397		
Total	3353744.063	12			
Corrected Total	651402.098	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1568.596 ^a	3	522.865	386.533	.000
Intercept	14063.794	1	14063.794	10396.800	.000
trt	1568.596	3	522.865	386.533	.000
Error	10.822	8	1.353		
Total	15643.211	12			
Corrected Total	1579.417	11			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .991)

ตารางที่ ค.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.003 ^a	4	.001	4.349	.027
Intercept	.002	1	.002	13.228	.005
trt	.003	4	.001	4.349	.027
Error	.002	10	.000		
Total	.007	15			
Corrected Total	.005	14			

a. R Squared = .635 (Adjusted R Squared = .489)

ตารางที่ ค.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.567E-5 ^a	4	1.142E-5	3.333	.056
Intercept	.003	1	.003	859.049	.000
trt	4.567E-5	4	1.142E-5	3.333	.056
Error	3.426E-5	10	3.426E-6		
Total	.003	15			
Corrected Total	7.993E-5	14			

a. R Squared = .571 (Adjusted R Squared = .400)

ตารางที่ ค.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.252 ^a	4	.063	1.327	.325
Intercept	10.130	1	10.130	213.344	.000
trt	.252	4	.063	1.327	.325
Error	.475	10	.047		
Total	10.857	15			
Corrected Total	.727	14			

a. R Squared = .347 (Adjusted R Squared = .085)

ตารางที่ ค.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	4	.002	20.934	.000
Intercept	.012	1	.012	169.911	.000
trt	.006	4	.002	20.934	.000
Error	.001	10	7.288E-5		
Total	.019	15			
Corrected Total	.007	14			

a. R Squared = .893 (Adjusted R Squared = .851)

ตารางที่ ค.14 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ใน แนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.023E-5 ^a	4	1.006E-5	33.061	.000
Intercept	.001	1	.001	1788.239	.000
trt	4.023E-5	4	1.006E-5	33.061	.000
Error	3.042E-6	10	3.042E-7		
Total	.001	15			
Corrected Total	4.327E-5	14			

a. R Squared = .930 (Adjusted R Squared = .902)

ตารางที่ ค.15 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ใน แนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.016 ^a	4	.004	10.765	.001
Intercept	14.345	1	14.345	38811.410	.000
trt	.016	4	.004	10.765	.001
Error	.004	10	.000		
Total	14.365	15			
Corrected Total	.020	14			

a. R Squared = .812 (Adjusted R Squared = .736)

ตารางที่ ค.16 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	4	.000	19.149	.000
Intercept	.004	1	.004	161.650	.000
trt	.002	4	.000	19.149	.000
Error	.000	10	2.171E-5		
Total	.005	15			
Corrected Total	.002	14			

a. R Squared = .885 (Adjusted R Squared = .838)

ตารางที่ ค.17 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความซ้ําเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	4	.000	47.484	.000
Intercept	.001	1	.001	316.158	.000
trt	.001	4	.000	47.484	.000
Error	4.724E-5	10	4.724E-6		
Total	.002	15			
Corrected Total	.001	14			

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .930)

ตารางที่ ค.18 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.062 ^a	4	.016	4.074	.033
Intercept	14.615	1	14.615	3816.734	.000
trt	.062	4	.016	4.074	.033
Error	.038	10	.004		
Total	14.716	15			
Corrected Total	.101	14			

a. R Squared = .620 (Adjusted R Squared = .468)

ตารางที่ ค.19 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชัน ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.008 ^a	4	.002	21.312	.000
Intercept	.013	1	.013	136.372	.000
trt	.008	4	.002	21.312	.000
Error	.001	10	9.549E-5		
Total	.022	15			
Corrected Total	.009	14			

a. R Squared = .895 (Adjusted R Squared = .853)

ตารางที่ ค.20 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.009 ^a	4	.002	240.570	.000
Intercept	.005	1	.005	489.869	.000
trt	.009	4	.002	240.570	.000
Error	9.359E-5	10	9.359E-6		
Total	.014	15			
Corrected Total	.009	14			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .986)

ตารางที่ ค.20 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.034 ^a	4	.009	2.679	.094
Intercept	15.443	1	15.443	4842.140	.000
trt	.034	4	.009	2.679	.094
Error	.032	10	.003		
Total	15.509	15			
Corrected Total	.066	14			

a. R Squared = .517 (Adjusted R Squared = .324)

ตารางที่ ค.21 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	3	.000	1.481	.292
Intercept	.006	1	.006	63.921	.000
trt	.000	3	.000	1.481	.292
Error	.001	8	9.487E-5		
Total	.007	12			
Corrected Total	.001	11			

a. R Squared = .357 (Adjusted R Squared = .116)

ตารางที่ ค.22 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	3	9.307E-5	348.780	.000
Intercept	.000	1	.000	1622.421	.000
trt	.000	3	9.307E-5	348.780	.000
Error	2.135E-6	8	2.668E-7		
Total	.001	12			
Corrected Total	.000	11			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.23 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.446 ^a	3	.149	2.511	.132
Intercept	9.805	1	9.805	165.426	.000
trt	.446	3	.149	2.511	.132
Error	.474	8	.059		
Total	10.725	12			
Corrected Total	.921	11			

a. R Squared = .485 (Adjusted R Squared = .292)

ตารางที่ ค.24 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP ในแต่ละวัน ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.003 ^a	4	.001	4.349	.027
Intercept	.002	1	.002	13.228	.005
trt	.003	4	.001	4.349	.027
Error	.002	10	.000		
Total	.007	15			
Corrected Total	.005	14			

a. R Squared = .635 (Adjusted R Squared = .489)

ตารางที่ ค.25 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.567E-5 ^a	4	1.142E-5	3.333	.056
Intercept	.003	1	.003	859.049	.000
trt	4.567E-5	4	1.142E-5	3.333	.056
Error	3.426E-5	10	3.426E-6		
Total	.003	15			
Corrected Total	7.993E-5	14			

a. R Squared = .571 (Adjusted R Squared = .400)

ตารางที่ ค.26 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.252 ^a	4	.063	1.327	.325
Intercept	10.130	1	10.130	213.344	.000
trt	.252	4	.063	1.327	.325
Error	.475	10	.047		
Total	10.857	15			
Corrected Total	.727	14			

a. R Squared = .347 (Adjusted R Squared = .085)

ตารางที่ ค.27 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	4	.002	20.934	.000
Intercept	.012	1	.012	169.911	.000
trt	.006	4	.002	20.934	.000
Error	.001	10	7.288E-5		
Total	.019	15			
Corrected Total	.007	14			

a. R Squared = .893 (Adjusted R Squared = .851)

ตารางที่ ค.28 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความซ้ำซ้อน (consistency index; K) ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	4	2.667E-5	2.000	.171
Intercept	.001	1	.001	72.000	.000
trt	.000	4	2.667E-5	2.000	.171
Error	.000	10	1.333E-5		
Total	.001	15			
Corrected Total	.000	14			

a. R Squared = .444 (Adjusted R Squared = .222)

ตารางที่ ค.29 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.016 ^a	4	.004	10.765	.001
Intercept	14.345	1	14.345	38811.410	.000
trt	.016	4	.004	10.765	.001
Error	.004	10	.000		
Total	14.365	15			
Corrected Total	.020	14			

a. R Squared = .812 (Adjusted R Squared = .736)

ตารางที่ ค.30 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	4	.000	19.149	.000
Intercept	.004	1	.004	161.650	.000
trt	.002	4	.000	19.149	.000
Error	.000	10	2.171E-5		
Total	.005	15			
Corrected Total	.002	14			

a. R Squared = .885 (Adjusted R Squared = .838)

ตารางที่ ค.31 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	4	.000	47.484	.000
Intercept	.001	1	.001	316.158	.000
trt	.001	4	.000	47.484	.000
Error	4.724E-5	10	4.724E-6		
Total	.002	15			
Corrected Total	.001	14			

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .930)



ตารางที่ ค.32 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.062 ^a	4	.016	4.074	.033
Intercept	14.615	1	14.615	3816.734	.000
trt	.062	4	.016	4.074	.033
Error	.038	10	.004		
Total	14.716	15			
Corrected Total	.101	14			

a. R Squared = .620 (Adjusted R Squared = .468)

ตารางที่ ค.33 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.008 ^a	4	.002	21.312	.000
Intercept	.013	1	.013	136.372	.000
trt	.008	4	.002	21.312	.000
Error	.001	10	9.549E-5		
Total	.022	15			
Corrected Total	.009	14			

a. R Squared = .895 (Adjusted R Squared = .853)



ตารางที่ ค.34 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

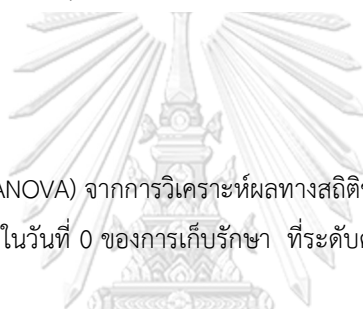
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.009 ^a	4	.002	240.570	.000
Intercept	.005	1	.005	489.869	.000
trt	.009	4	.002	240.570	.000
Error	9.359E-5	10	9.359E-6		
Total	.014	15			
Corrected Total	.009	14			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .986)

ตารางที่ ค.35 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.034 ^a	4	.009	2.679	.094
Intercept	15.443	1	15.443	4842.140	.000
trt	.034	4	.009	2.679	.094
Error	.032	10	.003		
Total	15.509	15			
Corrected Total	.066	14			

a. R Squared = .517 (Adjusted R Squared = .324)



ตารางที่ ค.36 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมน้ำมันชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

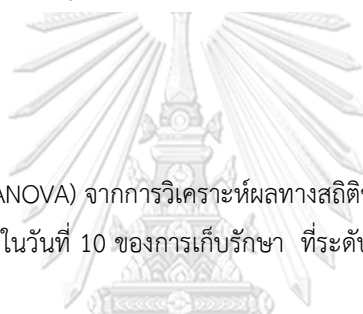
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	815.623 ^a	3	271.874	87.885	.000
Intercept	271.874	1	271.874	87.885	.000
trt	815.623	3	271.874	87.885	.000
Error	24.748	8	3.094		
Total	1112.246	12			
Corrected Total	840.371	11			

a. R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .960)

ตารางที่ ค.37 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45.425 ^a	3	15.142	4.732	.035
Intercept	3359.545	1	3359.545	1049.951	.000
trt	45.425	3	15.142	4.732	.035
Error	25.598	8	3.200		
Total	3430.568	12			
Corrected Total	71.023	11			

a. R Squared = .640 (Adjusted R Squared = .504)



ตารางที่ ค.38 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

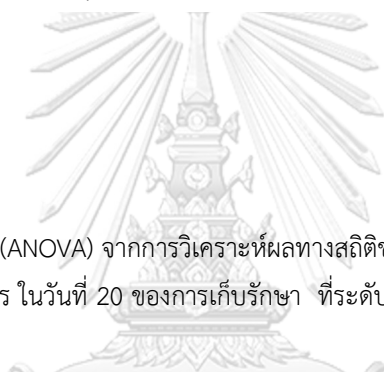
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26.232 ^a	3	8.744	2.185	.168
Intercept	4764.693	1	4764.693	1190.629	.000
trt	26.232	3	8.744	2.185	.168
Error	32.015	8	4.002		
Total	4822.939	12			
Corrected Total	58.247	11			

a. R Squared = .450 (Adjusted R Squared = .244)

ตารางที่ ค.39 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมน้ำมันอัลซันแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	82.222 ^a	3	27.407	23.241	.000
Intercept	11302.205	1	11302.205	9583.947	.000
trt	82.222	3	27.407	23.241	.000
Error	9.434	8	1.179		
Total	11393.862	12			
Corrected Total	91.656	11			

a. R Squared = .897 (Adjusted R Squared = .858)



ตารางที่ ค.40 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมน้ำมันอัลซันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

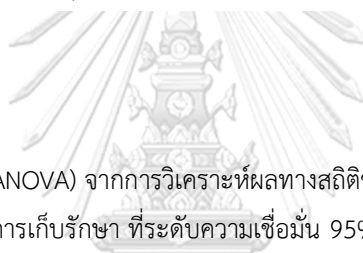
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	199.255 ^a	3	66.418	8.815	.006
Intercept	13306.777	1	13306.777	1766.115	.000
trt	199.255	3	66.418	8.815	.006
Error	60.276	8	7.534		
Total	13566.307	12			
Corrected Total	259.531	11			

a. R Squared = .768 (Adjusted R Squared = .681)

ตารางที่ ค.41 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2677.361 ^a	4	669.340	102.624	.000
Intercept	7275.021	1	7275.021	1115.419	.000
trt	2677.361	4	669.340	102.624	.000
Error	65.222	10	6.522		
Total	10017.604	15			
Corrected Total	2742.583	14			

a. R Squared = .976 (Adjusted R Squared = .967)



ตารางที่ ค.42 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2545.893 ^a	4	636.473	526.719	.000
Intercept	6808.718	1	6808.718	5634.611	.000
trt	2545.893	4	636.473	526.719	.000
Error	12.084	10	1.208		
Total	9366.694	15			
Corrected Total	2557.977	14			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

ตารางที่ ค.43 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1755.129 ^a	4	438.782	148.899	.000
Intercept	5618.026	1	5618.026	1906.458	.000
trt	1755.129	4	438.782	148.899	.000
Error	29.468	10	2.947		
Total	7402.623	15			
Corrected Total	1784.597	14			

a. R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .977)

ตารางที่ ค.44 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

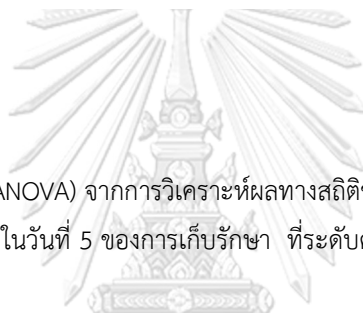
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1633.541 ^a	4	408.385	198.745	.000
Intercept	4772.666	1	4772.666	2322.674	.000
trt	1633.541	4	408.385	198.745	.000
Error	20.548	10	2.055		
Total	6426.755	15			
Corrected Total	1654.089	14			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .983)

ตารางที่ ค.45 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	311.979 ^a	3	103.993	12.784	.002
Intercept	51939.859	1	51939.859	6384.961	.000
trt	311.979	3	103.993	12.784	.002
Error	65.078	8	8.135		
Total	52316.916	12			
Corrected Total	377.057	11			

a. R Squared = .827 (Adjusted R Squared = .763)



ตารางที่ ค.46 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

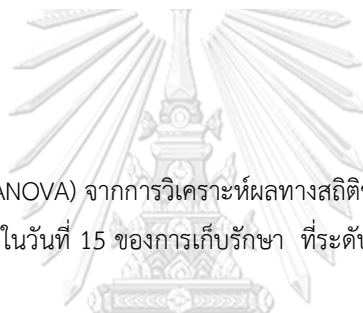
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	201.045 ^a	3	67.015	6.605	.015
Intercept	52182.709	1	52182.709	5142.870	.000
trt	201.045	3	67.015	6.605	.015
Error	81.173	8	10.147		
Total	52464.927	12			
Corrected Total	282.218	11			

a. R Squared = .712 (Adjusted R Squared = .605)

ตารางที่ ค.47 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมน้ำมันล้นแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	191.130 ^a	3	63.710	17.462	.001
Intercept	51521.891	1	51521.891	14121.061	.000
trt	191.130	3	63.710	17.462	.001
Error	29.189	8	3.649		
Total	51742.210	12			
Corrected Total	220.319	11			

a. R Squared = .868 (Adjusted R Squared = .818)



ตารางที่ ค.48 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมน้ำมันล้นแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	181.630 ^a	3	60.543	11.057	.003
Intercept	54715.790	1	54715.790	9992.463	.000
trt	181.630	3	60.543	11.057	.003
Error	43.806	8	5.476		
Total	54941.225	12			
Corrected Total	225.436	11			

a. R Squared = .806 (Adjusted R Squared = .733)

ตารางที่ ค.49 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	199.255 ^a	3	66.418	8.815	.006
Intercept	13306.777	1	13306.777	1766.115	.000
trt	199.255	3	66.418	8.815	.006
Error	60.276	8	7.534		
Total	13566.307	12			
Corrected Total	259.531	11			

a. R Squared = .768 (Adjusted R Squared = .681)



ตารางที่ ค.50 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	39.673 ^a	4	9.918	2.186	.144
Intercept	68639.948	1	68639.948	15127.919	.000
trt	39.673	4	9.918	2.186	.144
Error	45.373	10	4.537		
Total	68724.995	15			
Corrected Total	85.046	14			

a. R Squared = .466 (Adjusted R Squared = .253)

ตารางที่ ค.51 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	123.374 ^a	4	30.843	5.334	.015
Intercept	55731.667	1	55731.667	9637.939	.000
trt	123.374	4	30.843	5.334	.015
Error	57.825	10	5.783		
Total	55912.866	15			
Corrected Total	181.199	14			

a. R Squared = .681 (Adjusted R Squared = .553)



ตารางที่ ค.52 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.700 ^a	4	20.175	1.719	.222
Intercept	75854.395	1	75854.395	6463.156	.000
trt	80.700	4	20.175	1.719	.222
Error	117.364	10	11.736		
Total	76052.459	15			
Corrected Total	198.064	14			

a. R Squared = .407 (Adjusted R Squared = .170)

ตารางที่ ค.53 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	128.215 ^a	4	32.054	5.239	.015
Intercept	66801.310	1	66801.310	10918.309	.000
trt	128.215	4	32.054	5.239	.015
Error	61.183	10	6.118		
Total	66990.708	15			
Corrected Total	189.398	14			

a. R Squared = .677 (Adjusted R Squared = .548)



ตารางที่ ค.54 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L* ของกะทิเติมน้ำมันชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.326 ^a	3	12.775	100.891	.000
Intercept	54830.360	1	54830.360	433013.704	.000
trt	38.326	3	12.775	100.891	.000
Error	1.013	8	.127		
Total	54869.699	12			
Corrected Total	39.339	11			

a. R Squared = .974 (Adjusted R Squared = .965)

ตารางที่ ค.55 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.564 ^a	3	.188	442.196	.000
Intercept	.030	1	.030	70.588	.000
trt	.564	3	.188	442.196	.000
Error	.003	8	.000		
Total	.597	12			
Corrected Total	.567	11			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)



ตารางที่ ค.56 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16.303 ^a	3	5.434	3487.235	.000
Intercept	6.765	1	6.765	4341.182	.000
trt	16.303	3	5.434	3487.235	.000
Error	.012	8	.002		
Total	23.080	12			
Corrected Total	16.315	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.57 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	65.287 ^a	3	21.762	41.362	.000
Intercept	69782.476	1	69782.476	132630.582	.000
trt	65.287	3	21.762	41.362	.000
Error	4.209	8	.526		
Total	69851.972	12			
Corrected Total	69.496	11			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .917)

ตารางที่ ค.58 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.068 ^a	3	.023	341.833	.000
Intercept	.780	1	.780	11704.500	.000
trt	.068	3	.023	341.833	.000
Error	.001	8	6.667E-5		
Total	.849	12			
Corrected Total	.069	11			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .989)

ตารางที่ ค.59 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเต็มไขมันล้นชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.670 ^a	3	1.223	19.786	.000
Intercept	25.027	1	25.027	404.756	.000
trt	3.670	3	1.223	19.786	.000
Error	.495	8	.062		
Total	29.192	12			
Corrected Total	4.165	11			

a. R Squared = .881 (Adjusted R Squared = .837)

ตารางที่ ค.60 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิเต็มไขมันล้นชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32.903 ^a	3	10.968	22307.226	.000
Intercept	71322.126	1	71322.126	145061952.017	.000
trt	32.903	3	10.968	22307.226	.000
Error	.004	8	.000		
Total	71355.034	12			
Corrected Total	32.907	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.61 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.320 ^a	3	.107	1068.222	.000
Intercept	1.985	1	1.985	19845.333	.000
trt	.320	3	.107	1068.222	.000
Error	.001	8	.000		
Total	2.306	12			
Corrected Total	.321	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

ตารางที่ ค.62 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.317 ^a	3	.439	46.873	.000
Intercept	69.312	1	69.312	7399.872	.000
trt	1.317	3	.439	46.873	.000
Error	.075	8	.009		
Total	70.704	12			
Corrected Total	1.392	11			

a. R Squared = .946 (Adjusted R Squared = .926)

ตารางที่ ค.63 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิเต็มไขมันชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.562 ^a	3	3.187	1.161	.383
Intercept	72803.783	1	72803.783	26513.632	.000
trt	9.562	3	3.187	1.161	.383
Error	21.967	8	2.746		
Total	72835.312	12			
Corrected Total	31.529	11			

a. R Squared = .303 (Adjusted R Squared = .042)

ตารางที่ ค.64 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิเต็มไขมันชั้นแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.084 ^a	3	.028	2.920	.100
Intercept	5.549	1	5.549	575.502	.000
trt	.084	3	.028	2.920	.100
Error	.077	8	.010		
Total	5.710	12			
Corrected Total	.162	11			

a. R Squared = .523 (Adjusted R Squared = .344)

ตารางที่ ค.65 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.128 ^a	3	.376	15043.889	.000
Intercept	76.558	1	76.558	3062320.333	.000
trt	1.128	3	.376	15043.889	.000
Error	.000	8	2.500E-5		
Total	77.687	12			
Corrected Total	1.128	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)



ตารางที่ ค.66 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.452 ^a	3	7.484	1960.844	.000
Intercept	74343.169	1	74343.169	19478559.616	.000
trt	22.452	3	7.484	1960.844	.000
Error	.031	8	.004		
Total	74365.651	12			
Corrected Total	22.482	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.67 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.013 ^a	3	.004	4.652	.036
Intercept	8.721	1	8.721	9021.802	.000
trt	.013	3	.004	4.652	.036
Error	.008	8	.001		
Total	8.742	12			
Corrected Total	.021	11			

a. R Squared = .636 (Adjusted R Squared = .499)

ตารางที่ ค.68 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.464 ^a	3	4.155	3666.007	.000
Intercept	137.566	1	137.566	121382.125	.000
trt	12.464	3	4.155	3666.007	.000
Error	.009	8	.001		
Total	150.040	12			
Corrected Total	12.473	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.69 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1173.520 ^a	5	234.704	1596.746	.000
Intercept	80008.000	1	80008.000	544313.253	.000
trt	1173.520	5	234.704	1596.746	.000
Error	1.764	12	.147		
Total	81183.284	18			
Corrected Total	1175.283	17			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)



ตารางที่ ค.70 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.185 ^a	5	.037	147.702	.000
Intercept	.920	1	.920	3681.089	.000
trt	.185	5	.037	147.702	.000
Error	.003	12	.000		
Total	1.108	18			
Corrected Total	.188	17			

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .977)

ตารางที่ ค.71 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.139 ^a	5	16.028	936.087	.000
Intercept	88.091	1	88.091	5144.816	.000
trt	80.139	5	16.028	936.087	.000
Error	.205	12	.017		
Total	168.436	18			
Corrected Total	80.345	17			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.72 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	110.963 ^a	5	22.193	1864.059	.000
Intercept	95079.976	1	95079.976	7986185.573	.000
trt	110.963	5	22.193	1864.059	.000
Error	.143	12	.012		
Total	95191.082	18			
Corrected Total	111.106	17			

a. Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.73 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.639 ^a	5	.128	575.485	.000
Intercept	.002	1	.002	9.025	.011
trt	.639	5	.128	575.485	.000
Error	.003	12	.000		
Total	.644	18			
Corrected Total	.642	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.74 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.726 ^a	5	1.945	914.218	.000
Intercept	177.473	1	177.473	83407.582	.000
trt	9.726	5	1.945	914.218	.000
Error	.026	12	.002		
Total	187.225	18			
Corrected Total	9.752	17			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.75 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	411.066 ^a	5	82.213	570.156	.000
Intercept	91493.586	1	91493.586	634515.337	.000
trt	411.066	5	82.213	570.156	.000
Error	1.730	12	.144		
Total	91906.383	18			
Corrected Total	412.797	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.76 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.345 ^a	5	.069	2487.360	.000
Intercept	.072	1	.072	2599.200	.000
trt	.345	5	.069	2487.360	.000
Error	.000	12	2.778E-5		
Total	.418	18			
Corrected Total	.346	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.77 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	44.106 ^a	5	8.821	8401.219	.000
Intercept	167.079	1	167.079	159123.048	.000
trt	44.106	5	8.821	8401.219	.000
Error	.013	12	.001		
Total	211.198	18			
Corrected Total	44.119	17			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)



ตารางที่ ค.78 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	158.954 ^a	5	31.791	1871.887	.000
Intercept	103732.533	1	103732.533	6107901.873	.000
trt	158.954	5	31.791	1871.887	.000
Error	.204	12	.017		
Total	103891.692	18			
Corrected Total	159.158	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.79 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.988 ^a	5	.198	515.687	.000
Intercept	6.994	1	6.994	18244.696	.000
trt	.988	5	.198	515.687	.000
Error	.005	12	.000		
Total	7.987	18			
Corrected Total	.993	17			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)



ตารางที่ ค.80 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.866 ^a	5	.773	456.296	.000
Intercept	51.952	1	51.952	30660.210	.000
trt	3.866	5	.773	456.296	.000
Error	.020	12	.002		
Total	55.838	18			
Corrected Total	3.886	17			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

ตารางที่ ค.81 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	67.638 ^a	3	22.546	22.247	.000
Intercept	14218.298	1	14218.298	14029.370	.000
trt	67.638	3	22.546	22.247	.000
Error	8.108	8	1.013		
Total	14294.044	12			
Corrected Total	75.746	11			

a. R Squared = .893 (Adjusted R Squared = .853)

ตารางที่ ค.82 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	75.257 ^a	3	25.086	25.992	.000
Intercept	11214.600	1	11214.600	11619.654	.000
trt	75.257	3	25.086	25.992	.000
Error	7.721	8	.965		
Total	11297.578	12			
Corrected Total	82.978	11			

a. R Squared = .907 (Adjusted R Squared = .872)

ตารางที่ ค.83 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	56.400 ^a	3	18.800	9.415	.005
Intercept	6390.533	1	6390.533	3200.327	.000
trt	56.400	3	18.800	9.415	.005
Error	15.975	8	1.997		
Total	6462.908	12			
Corrected Total	72.375	11			

a. R Squared = .779 (Adjusted R Squared = .697)

ตารางที่ ค.84 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

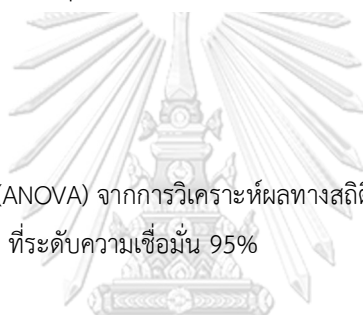
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	102.817 ^a	3	34.272	5.607	.023
Intercept	5915.570	1	5915.570	967.740	.000
trt	102.817	3	34.272	5.607	.023
Error	48.902	8	6.113		
Total	6067.289	12			
Corrected Total	151.719	11			

a. R Squared = .678 (Adjusted R Squared = .557)

ตารางที่ ค.85 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17.964 ^a	3	5.988	1.054	.420
Intercept	9436.966	1	9436.966	1661.116	.000
trt	17.964	3	5.988	1.054	.420
Error	45.449	8	5.681		
Total	9500.379	12			
Corrected Total	63.413	11			

a. R Squared = .283 (Adjusted R Squared = .015)



ตารางที่ ค.86 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	357.619 ^a	4	89.405	16.670	.000
Intercept	11148.731	1	11148.731	2078.714	.000
trt	357.619	4	89.405	16.670	.000
Error	53.633	10	5.363		
Total	11559.983	15			
Corrected Total	411.252	14			

a. R Squared = .870 (Adjusted R Squared = .817)

ตารางที่ ค.87 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP+NE5% ใน แต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	491.740 ^a	4	122.935	38.365	.000
Intercept	13567.381	1	13567.381	4234.083	.000
trt	491.740	4	122.935	38.365	.000
Error	32.043	10	3.204		
Total	14091.164	15			
Corrected Total	523.783	14			

a. R Squared = .939 (Adjusted R Squared = .914)



ตารางที่ ค.88 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	355.546 ^a	4	88.886	82.014	.000
Intercept	10512.818	1	10512.818	9699.943	.000
trt	355.546	4	88.886	82.014	.000
Error	10.838	10	1.084		
Total	10879.202	15			
Corrected Total	366.384	14			

a. R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .959)

ตารางที่ ค.89 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	255.655 ^a	4	63.914	21.563	.000
Intercept	10806.553	1	10806.553	3645.884	.000
trt	255.655	4	63.914	21.563	.000
Error	29.640	10	2.964		
Total	11091.848	15			
Corrected Total	285.296	14			

a. R Squared = .896 (Adjusted R Squared = .855)



ตารางที่ ค.90 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ นาโนอิมัลชัน ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	239.217 ^a	3	79.739	229.124	.000
Intercept	47565.798	1	47565.798	136677.023	.000
trt	239.217	3	79.739	229.124	.000
Error	2.784	8	.348		
Total	47807.799	12			
Corrected Total	242.001	11			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .984)

ตารางที่ ค.91 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	39.120 ^a	3	13.040	142.593	.000
Intercept	22593.291	1	22593.291	247057.636	.000
trt	39.120	3	13.040	142.593	.000
Error	.732	8	.091		
Total	22633.143	12			
Corrected Total	39.852	11			

a. R Squared = .982 (Adjusted R Squared = .975)

ตารางที่ ค.92 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

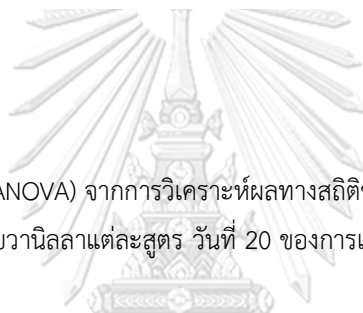
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	495.549 ^a	3	165.183	300.351	.000
Intercept	12234.330	1	12234.330	22245.573	.000
trt	495.549	3	165.183	300.351	.000
Error	4.400	8	.550		
Total	12734.280	12			
Corrected Total	499.949	11			

a. R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .988)

ตารางที่ ค.93 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	63.206 ^a	3	21.069	11.616	.003
Intercept	12337.036	1	12337.036	6801.958	.000
trt	63.206	3	21.069	11.616	.003
Error	14.510	8	1.814		
Total	12414.752	12			
Corrected Total	77.716	11			

a. R Squared = .813 (Adjusted R Squared = .743)



ตารางที่ ค.94 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	213.413 ^a	3	71.138	38.467	.000
Intercept	7472.864	1	7472.864	4040.890	.000
trt	213.413	3	71.138	38.467	.000
Error	14.794	8	1.849		
Total	7701.071	12			
Corrected Total	228.207	11			

a. R Squared = .935 (Adjusted R Squared = .911)

ตารางที่ ค.95 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP ในแต่ละ วันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2979.611 ^a	4	744.903	615.013	.000
Intercept	19103.689	1	19103.689	15772.564	.000
trt	2979.611	4	744.903	615.013	.000
Error	12.112	10	1.211		
Total	22095.412	15			
Corrected Total	2991.723	14			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)



ตารางที่ ค.96 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2717.671 ^a	4	679.418	733.168	.000
Intercept	27687.243	1	27687.243	29877.632	.000
trt	2717.671	4	679.418	733.168	.000
Error	9.267	10	.927		
Total	30414.181	15			
Corrected Total	2726.938	14			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.97 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3455.855 ^a	4	863.964	690.715	.000
Intercept	22036.934	1	22036.934	17617.911	.000
trt	3455.855	4	863.964	690.715	.000
Error	12.508	10	1.251		
Total	25505.298	15			
Corrected Total	3468.364	14			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.98 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

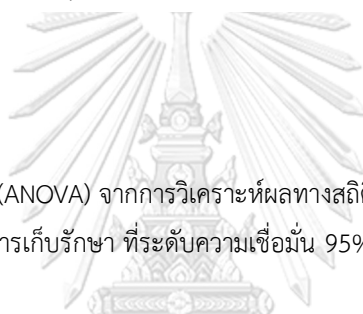
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2153.479 ^a	4	538.370	1615.355	.000
Intercept	23119.342	1	23119.342	69368.597	.000
trt	2153.479	4	538.370	1615.355	.000
Error	3.333	10	.333		
Total	25276.153	15			
Corrected Total	2156.811	14			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.99 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์
 เต็มไขมันอิมัลชัน ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	56.703 ^a	3	18.901	77.747	.000
Intercept	400.216	1	400.216	1646.236	.000
trt	56.703	3	18.901	77.747	.000
Error	1.945	8	.243		
Total	458.864	12			
Corrected Total	58.648	11			

a. R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .954)



ตารางที่ ค.100 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์
 เต็มไขมันอิมัลชัน ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.602 ^a	3	.867	4.019	.051
Intercept	12.502	1	12.502	57.934	.000
trt	2.602	3	.867	4.019	.051
Error	1.726	8	.216		
Total	16.831	12			
Corrected Total	4.329	11			

a. R Squared = .601 (Adjusted R Squared = .452)

ตารางที่ ค.101 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์
 เต็มหนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.016 ^a	3	4.339	12.170	.002
Intercept	124.589	1	124.589	349.466	.000
trt	13.016	3	4.339	12.170	.002
Error	2.852	8	.357		
Total	140.457	12			
Corrected Total	15.868	11			

a. R Squared = .820 (Adjusted R Squared = .753)



ตารางที่ ค.102 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์
 เต็มหนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.987 ^a	3	4.329	17.544	.001
Intercept	98.344	1	98.344	398.575	.000
trt	12.987	3	4.329	17.544	.001
Error	1.974	8	.247		
Total	113.305	12			
Corrected Total	14.961	11			

a. R Squared = .868 (Adjusted R Squared = .819)

ตารางที่ ค.103 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มหนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17.693 ^a	3	5.898	13.572	.002
Intercept	86.135	1	86.135	198.215	.000
trt	17.693	3	5.898	13.572	.002
Error	3.476	8	.435		
Total	107.304	12			
Corrected Total	21.169	11			

a. R Squared = .836 (Adjusted R Squared = .774)

ตารางที่ ค.104 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP ในแต่ละวัน ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	100.739 ^a	4	25.185	51.240	.000
Intercept	161.226	1	161.226	328.028	.000
trt	100.739	4	25.185	51.240	.000
Error	4.915	10	.492		
Total	266.880	15			
Corrected Total	105.654	14			

a. R Squared = .953 (Adjusted R Squared = .935)

ตารางที่ ค.105 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19.478 ^a	4	4.869	14.864	.000
Intercept	116.389	1	116.389	355.276	.000
trt	19.478	4	4.869	14.864	.000
Error	3.276	10	.328		
Total	139.143	15			
Corrected Total	22.754	14			

a. R Squared = .856 (Adjusted R Squared = .798)

ตารางที่ ค.106 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	46.306 ^a	4	11.577	76.627	.000
Intercept	157.932	1	157.932	1045.373	.000
trt	46.306	4	11.577	76.627	.000
Error	1.511	10	.151		
Total	205.749	15			
Corrected Total	47.817	14			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .956)

ตารางที่ ค.107 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	72.761 ^a	4	18.190	65.939	.000
Intercept	153.487	1	153.487	556.385	.000
trt	72.761	4	18.190	65.939	.000
Error	2.759	10	.276		
Total	229.007	15			
Corrected Total	75.520	14			

a. R Squared = .963 (Adjusted R Squared = .949)

ตารางที่ ค.108 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชัน ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

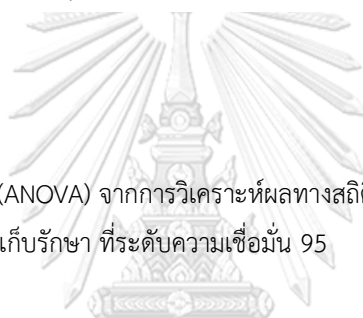
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.049 ^a	3	.016	71.214	.000
Intercept	.064	1	.064	283.221	.000
trt	.049	3	.016	71.214	.000
Error	.002	8	.000		
Total	.115	12			
Corrected Total	.050	11			

a. R Squared = .964 (Adjusted R Squared = .950)

ตารางที่ ค.109 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชัน ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.015 ^a	3	.005	7.792	.009
Intercept	.046	1	.046	72.090	.000
trt	.015	3	.005	7.792	.009
Error	.005	8	.001		
Total	.066	12			
Corrected Total	.020	11			

a. R Squared = .745 (Adjusted R Squared = .649)



ตารางที่ ค.110 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชัน ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

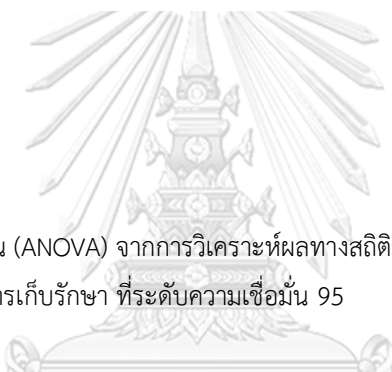
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	3.034	.093
Intercept	.008	1	.008	49.369	.000
trt	.001	3	.000	3.034	.093
Error	.001	8	.000		
Total	.011	12			
Corrected Total	.003	11			

a. R Squared = .532 (Adjusted R Squared = .357)

ตารางที่ ค.111 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติม นานโนอิมัลชัน ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	9.091	.006
Intercept	.010	1	.010	182.911	.000
trt	.001	3	.000	9.091	.006
Error	.000	8	5.314E-5		
Total	.012	12			
Corrected Total	.002	11			

a. R Squared = .773 (Adjusted R Squared = .688)



ตารางที่ ค.112 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติม นานโนอิมัลชัน ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	3	.001	5.662	.022
Intercept	.025	1	.025	259.239	.000
trt	.002	3	.001	5.662	.022
Error	.001	8	9.556E-5		
Total	.027	12			
Corrected Total	.002	11			

a. R Squared = .680 (Adjusted R Squared = .560)

ตารางที่ ค.113 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.016 ^a	4	.004	75.000	.000
Intercept	.024	1	.024	465.377	.000
trt	.016	4	.004	75.000	.000
Error	.001	10	5.200E-5		
Total	.040	15			
Corrected Total	.016	14			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .955)

ตารางที่ ค.114 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP+NE5% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	4	.001	13.304	.001
Intercept	.025	1	.025	282.936	.000
trt	.005	4	.001	13.304	.001
Error	.001	10	8.684E-5		
Total	.030	15			
Corrected Total	.005	14			

a. R Squared = .842 (Adjusted R Squared = .779)

ตารางที่ ค.115 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.045 ^a	4	.011	15.081	.000
Intercept	.089	1	.089	119.048	.000
trt	.045	4	.011	15.081	.000
Error	.007	10	.001		
Total	.141	15			
Corrected Total	.052	14			

a. R Squared = .858 (Adjusted R Squared = .801)

ตารางที่ ค.116 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP+NE20% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	4	.001	20.935	.000
Intercept	.014	1	.014	249.796	.000
trt	.005	4	.001	20.935	.000
Error	.001	10	5.480E-5		
Total	.019	15			
Corrected Total	.005	14			

a. R Squared = .893 (Adjusted R Squared = .851)

ตารางที่ ค.117 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19842433.333 ^a	3	6614144.444	266.520	.000
Intercept	30020033.333	1	30020033.333	1209.672	.000
trt	19842433.333	3	6614144.444	266.520	.000
Error	198533.333	8	24816.667		
Total	50061000.000	12			
Corrected Total	20040966.667	11			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .986)

ตารางที่ ค.118 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

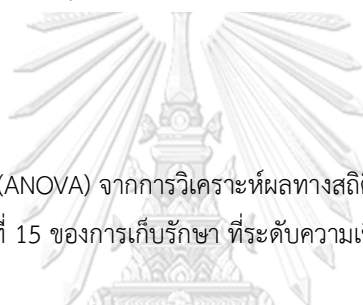
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	61577766.667 ^a	3	20525922.222	372.860	.000
Intercept	82268033.333	1	82268033.333	1494.424	.000
trt	61577766.667	3	20525922.222	372.860	.000
Error	440400.000	8	55050.000		
Total	144286200.000	12			
Corrected Total	62018166.667	11			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.119 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	144552875625.000 ^a	3	48184291875.000	55.378	.000
Intercept	77529725208.333	1	77529725208.333	89.105	.000
trt	144552875625.000	3	48184291875.000	55.378	.000
Error	6960751666.667	8	870093958.333		
Total	229043352500.000	12			
Corrected Total	151513627291.667	11			

a. R Squared = .954 (Adjusted R Squared = .937)



ตารางที่ ค.120 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	61874109393158.320 ^a	3	20624703131052.773	12.055	.002
Intercept	21353097909008.324	1	21353097909008.324	12.481	.008
trt	61874109393158.330	3	20624703131052.777	12.055	.002
Error	13687212951133.334	8	1710901618891.667		
Total	96914420253300.000	12			
Corrected Total	75561322344291.660	11			

a. R Squared = .819 (Adjusted R Squared = .751)

ตารางที่ ค.121 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชัน ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	43739193689166.664 ^a	3	14579731229722.220	25.593	.000
Intercept	17232752340833.324	1	17232752340833.324	30.251	.001
trt	43739193689166.664	3	14579731229722.220	25.593	.000
Error	4557342820000.000	8	569667852500.000		
Total	65529288850000.000	12			
Corrected Total	48296536509166.664	11			

a. R Squared = .906 (Adjusted R Squared = .870)

ตารางที่ ค.121 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในเนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.036 ^a	3	.012	3950.458	.000
Intercept	.032	1	.032	10548.479	.000
trt	.036	3	.012	3950.458	.000
Error	2.407E-5	8	3.008E-6		
Total	.067	12			
Corrected Total	.036	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.122 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	3	4.609E-5	6.292	.017
Intercept	.001	1	.001	145.599	.000
trt	.000	3	4.609E-5	6.292	.017
Error	5.859E-5	8	7.324E-6		
Total	.001	12			
Corrected Total	.000	11			

a. R Squared = .702 (Adjusted R Squared = .591)

ตารางที่ ค.123 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.013 ^a	3	.004	52.071	.000
Intercept	10.213	1	10.213	123219.483	.000
trt	.013	3	.004	52.071	.000
Error	.001	8	8.288E-5		
Total	10.226	12			
Corrected Total	.014	11			

a. R Squared = .951 (Adjusted R Squared = .933)

ตารางที่ ค.124 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มหนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	583.714	.000
Intercept	.002	1	.002	3590.067	.000
trt	.001	3	.000	583.714	.000
Error	3.761E-6	8	4.701E-7		
Total	.003	12			
Corrected Total	.001	11			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.125 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เต็มหนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

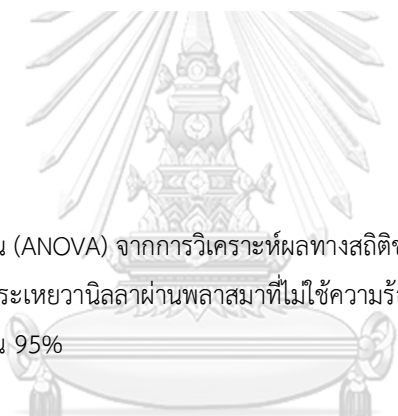
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	3	8.085E-5	3.309	.078
Intercept	.001	1	.001	37.721	.000
trt	.000	3	8.085E-5	3.309	.078
Error	.000	8	2.443E-5		
Total	.001	12			
Corrected Total	.000	11			

a. R Squared = .554 (Adjusted R Squared = .386)

ตารางที่ ค.126 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.018 ^a	3	.006	1.520	.282
Intercept	11.432	1	11.432	2830.850	.000
trt	.018	3	.006	1.520	.282
Error	.032	8	.004		
Total	11.483	12			
Corrected Total	.051	11			

a. R Squared = .363 (Adjusted R Squared = .124)



ตารางที่ ค.127 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	760.352	.000
Intercept	.003	1	.003	5990.193	.000
trt	.001	3	.000	760.352	.000
Error	4.303E-6	8	5.379E-7		
Total	.004	12			
Corrected Total	.001	11			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.128 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	614.699	.000
Intercept	.001	1	.001	2082.705	.000
trt	.001	3	.000	614.699	.000
Error	3.902E-6	8	4.877E-7		
Total	.002	12			
Corrected Total	.001	11			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.129 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.031 ^a	3	.010	4.366	.042
Intercept	11.326	1	11.326	4821.628	.000
trt	.031	3	.010	4.366	.042
Error	.019	8	.002		
Total	11.376	12			
Corrected Total	.050	11			

a. R Squared = .621 (Adjusted R Squared = .479)

ตารางที่ ค.130 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มหนาโนอิมัลชัน ของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	3	.000	68.379	.000
Intercept	.002	1	.002	802.473	.000
trt	.001	3	.000	68.379	.000
Error	2.064E-5	8	2.580E-6		
Total	.003	12			
Corrected Total	.001	11			

a. R Squared = .962 (Adjusted R Squared = .948)

ตารางที่ ค.131 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เต็มหนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	3	.002	89.358	.000
Intercept	.009	1	.009	479.093	.000
trt	.005	3	.002	89.358	.000
Error	.000	8	1.862E-5		
Total	.014	12			
Corrected Total	.005	11			

a. R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .960)

ตารางที่ ค.132 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.323 ^a	3	.108	15.873	.001
Intercept	12.659	1	12.659	1868.934	.000
trt	.323	3	.108	15.873	.001
Error	.054	8	.007		
Total	13.036	12			
Corrected Total	.377	11			

a. R Squared = .856 (Adjusted R Squared = .802)

ตารางที่ ค.134 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.009 ^a	3	.003	136.208	.000
Intercept	.028	1	.028	1248.137	.000
trt	.009	3	.003	136.208	.000
Error	.000	8	2.239E-5		
Total	.037	12			
Corrected Total	.009	11			

a. R Squared = .981 (Adjusted R Squared = .974)

ตารางที่ ค.135 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ในแนวนอน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	3	.001	34.040	.000
Intercept	.002	1	.002	84.273	.000
trt	.002	3	.001	34.040	.000
Error	.000	8	1.975E-5		
Total	.004	12			
Corrected Total	.002	11			

a. R Squared = .927 (Adjusted R Squared = .900)

ตารางที่ ค.136 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.128 ^a	3	.043	8.772	.007
Intercept	10.946	1	10.946	2248.259	.000
trt	.128	3	.043	8.772	.007
Error	.039	8	.005		
Total	11.113	12			
Corrected Total	.167	11			

a. R Squared = .767 (Adjusted R Squared = .679)

ตารางที่ ค.137 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress กะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มหนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.021 ^a	3	.007	6.975	.013
Intercept	.029	1	.029	28.290	.001
trt	.021	3	.007	6.975	.013
Error	.008	8	.001		
Total	.058	12			
Corrected Total	.029	11			

a. R Squared = .723 (Adjusted R Squared = .620)

ตารางที่ ค.138 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) กะทิพาสเจอร์ไรส์เต็มหนาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	3	.001	35.594	.000
Intercept	.002	1	.002	151.603	.000
trt	.002	3	.001	35.594	.000
Error	.000	8	1.594E-5		
Total	.004	12			
Corrected Total	.002	11			

a. R Squared = .930 (Adjusted R Squared = .904)

ตารางที่ ค.139 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) กะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยวานิลลาผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.140 ^a	3	.047	6.368	.016
Intercept	12.390	1	12.390	1692.156	.000
trt	.140	3	.047	6.368	.016
Error	.059	8	.007		
Total	12.589	12			
Corrected Total	.198	11			

a. R Squared = .705 (Adjusted R Squared = .594)

ตารางที่ ค.140 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.022 ^a	5	.004	6.540	.004
Intercept	.022	1	.022	32.061	.000
trt	.022	5	.004	6.540	.004
Error	.008	12	.001		
Total	.053	18			
Corrected Total	.031	17			

a. R Squared = .732 (Adjusted R Squared = .620)

ตารางที่ ค.141 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความซ้นเหลว (consistency index; K) ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	5	5.820E-5	353.599	.000
Intercept	.000	1	.000	2533.891	.000
trt	.000	5	5.820E-5	353.599	.000
Error	1.975E-6	12	1.646E-7		
Total	.001	18			
Corrected Total	.000	17			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.142 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.210 ^a	5	.042	8.918	.001
Intercept	20.966	1	20.966	4443.598	.000
trt	.210	5	.042	8.918	.001
Error	.057	12	.005		
Total	21.233	18			
Corrected Total	.267	17			

a. R Squared = .788 (Adjusted R Squared = .700)

ตารางที่ ค.143 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.010 ^a	5	.002	391.992	.000
Intercept	.010	1	.010	2130.465	.000
trt	.010	5	.002	391.992	.000
Error	5.913E-5	12	4.928E-6		
Total	.020	18			
Corrected Total	.010	17			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

ตารางที่ ค.144 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	5	.001	23.584	.000
Intercept	.010	1	.010	250.460	.000
trt	.005	5	.001	23.584	.000
Error	.000	12	4.163E-5		
Total	.016	18			
Corrected Total	.005	17			

a. R Squared = .908 (Adjusted R Squared = .869)

ตารางที่ ค.145 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.007 ^a	5	.001	.303	.902
Intercept	14.130	1	14.130	3262.621	.000
trt	.007	5	.001	.303	.902
Error	.052	12	.004		
Total	14.188	18			
Corrected Total	.059	17			

a. R Squared = .112 (Adjusted R Squared = -.258)

ตารางที่ ค.146 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.043 ^a	5	.009	2268.889	.000
Intercept	.051	1	.051	13237.978	.000
trt	.043	5	.009	2268.889	.000
Error	4.583E-5	12	3.819E-6		
Total	.094	18			
Corrected Total	.043	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.147 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความชื้นเหลว (consistency index; K) ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.003 ^a	5	.001	37.646	.000
Intercept	.005	1	.005	334.495	.000
trt	.003	5	.001	37.646	.000
Error	.000	12	1.449E-5		
Total	.008	18			
Corrected Total	.003	17			

a. R Squared = .940 (Adjusted R Squared = .915)

ตารางที่ ค.148 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.057 ^a	5	.011	4.705	.013
Intercept	15.949	1	15.949	6565.854	.000
trt	.057	5	.011	4.705	.013
Error	.029	12	.002		
Total	16.035	18			
Corrected Total	.086	17			

a. R Squared = .662 (Adjusted R Squared = .521)

ตารางที่ ค.149 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า yield stress ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	5	.000	351.737	.000
Intercept	.004	1	.004	3940.195	.000
trt	.002	5	.000	351.737	.000
Error	1.159E-5	12	9.660E-7		
Total	.006	18			
Corrected Total	.002	17			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.150 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีความขึ้นเหลว (consistency index; K) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	5	.000	153.286	.000
Intercept	.001	1	.001	905.348	.000
trt	.001	5	.000	153.286	.000
Error	1.708E-5	12	1.423E-6		
Total	.002	18			
Corrected Total	.001	17			

a. R Squared = .985 (Adjusted R Squared = .978)

ตารางที่ ค.151 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าดัชนีการไหล (flow behavior index; n) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.094 ^a	5	.019	3.424	.037
Intercept	18.208	1	18.208	3323.488	.000
trt	.094	5	.019	3.424	.037
Error	.066	12	.005		
Total	18.368	18			
Corrected Total	.160	17			

a. R Squared = .588 (Adjusted R Squared = .416)

ตารางที่ ค.152 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเตมณา อิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	627.465 ^a	3	209.155	370.017	.000
Intercept	209.155	1	209.155	370.017	.000
trt	627.465	3	209.155	370.017	.000
Error	4.522	8	.565		
Total	841.143	12			
Corrected Total	631.988	11			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.153 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103.168 ^a	3	34.389	14.612	.001
Intercept	5157.800	1	5157.800	2191.498	.000
trt	103.168	3	34.389	14.612	.001
Error	18.828	8	2.354		
Total	5279.796	12			
Corrected Total	121.996	11			

a. R Squared = .846 (Adjusted R Squared = .788)

ตารางที่ ค.154 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	118.689 ^a	3	39.563	8.453	.007
Intercept	5575.721	1	5575.721	1191.341	.000
trt	118.689	3	39.563	8.453	.007
Error	37.442	8	4.680		
Total	5731.852	12			
Corrected Total	156.130	11			

a. R Squared = .760 (Adjusted R Squared = .670)

ตารางที่ ค.155 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมน้ำมันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	118.511 ^a	3	39.504	11.688	.003
Intercept	7707.133	1	7707.133	2280.366	.000
trt	118.511	3	39.504	11.688	.003
Error	27.038	8	3.380		
Total	7852.682	12			
Corrected Total	145.549	11			

a. R Squared = .814 (Adjusted R Squared = .745)

ตารางที่ ค.156 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของกะทิเติมน้ำมันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.569 ^a	3	26.856	3.117	.088
Intercept	8392.936	1	8392.936	974.214	.000
trt	80.569	3	26.856	3.117	.088
Error	68.921	8	8.615		
Total	8542.425	12			
Corrected Total	149.489	11			

a. R Squared = .539 (Adjusted R Squared = .366)

ตารางที่ ค.157 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ กงกะทิเตมโนนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	54.434 ^a	3	18.145	5.014	.030
Intercept	9086.551	1	9086.551	2510.805	.000
trt	54.434	3	18.145	5.014	.030
Error	28.952	8	3.619		
Total	9169.937	12			
Corrected Total	83.386	11			

a. R Squared = .653 (Adjusted R Squared = .523)

ตารางที่ ค.158 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1891.160 ^a	5	378.232	87.270	.000
Intercept	9354.429	1	9354.429	2158.354	.000
trt	1891.160	5	378.232	87.270	.000
Error	52.009	12	4.334		
Total	11297.598	18			
Corrected Total	1943.168	17			

a. R Squared = .973 (Adjusted R Squared = .962)

ตารางที่ ค.159 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1426.203 ^a	5	285.241	66.340	.000
Intercept	6513.143	1	6513.143	1514.804	.000
trt	1426.203	5	285.241	66.340	.000
Error	51.596	12	4.300		
Total	7990.942	18			
Corrected Total	1477.799	17			

a. R Squared = .965 (Adjusted R Squared = .951)

ตารางที่ ค.160 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

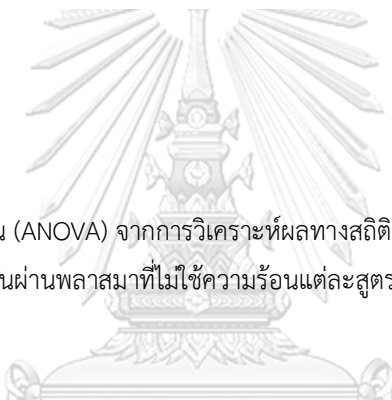
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	119.546 ^a	5	23.909	6.150	.005
Intercept	7881.053	1	7881.053	2027.087	.000
trt	119.546	5	23.909	6.150	.005
Error	46.654	12	3.888		
Total	8047.254	18			
Corrected Total	166.200	17			

a. R Squared = .719 (Adjusted R Squared = .602)

ตารางที่ ค.161 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (oiling index) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2222.560 ^a	5	444.512	74.584	.000
Intercept	8422.882	1	8422.882	1413.258	.000
trt	2222.560	5	444.512	74.584	.000
Error	71.519	12	5.960		
Total	10716.961	18			
Corrected Total	2294.079	17			

a. R Squared = .969 (Adjusted R Squared = .956)



ตารางที่ ค.162 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเติมนานอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	78.837 ^a	3	26.279	1.566	.272
Intercept	58861.624	1	58861.624	3508.756	.000
trt	78.837	3	26.279	1.566	.272
Error	134.205	8	16.776		
Total	59074.665	12			
Corrected Total	213.042	11			

a. R Squared = .370 (Adjusted R Squared = .134)

ตารางที่ ค.163 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเดิมน้ำมันชั้นผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	173.012 ^a	3	57.671	9.923	.005
Intercept	61669.229	1	61669.229	10610.531	.000
trt	173.012	3	57.671	9.923	.005
Error	46.497	8	5.812		
Total	61888.737	12			
Corrected Total	219.508	11			

a. R Squared = .788 (Adjusted R Squared = .709)

ตารางที่ ค.164 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเดิมน้ำมันชั้นผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	130.128 ^a	3	43.376	8.401	.007
Intercept	64866.302	1	64866.302	12563.367	.000
trt	130.128	3	43.376	8.401	.007
Error	41.305	8	5.163		
Total	65037.734	12			
Corrected Total	171.433	11			

a. R Squared = .759 (Adjusted R Squared = .669)

ตารางที่ ค.165 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเดิมน้ำมันชั้นผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	82.373 ^a	3	27.458	4.835	.033
Intercept	67722.303	1	67722.303	11926.280	.000
trt	82.373	3	27.458	4.835	.033
Error	45.427	8	5.678		
Total	67850.104	12			
Corrected Total	127.801	11			

a. R Squared = .645 (Adjusted R Squared = .511)

ตารางที่ ค.166 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเดิมน้ำมันชั้นผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	88.611 ^a	3	29.537	1.823	.221
Intercept	68414.803	1	68414.803	4222.642	.000
trt	88.611	3	29.537	1.823	.221
Error	129.615	8	16.202		
Total	68633.030	12			
Corrected Total	218.226	11			

a. R Squared = .406 (Adjusted R Squared = .183)

ตารางที่ ค.167 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นครีม (creaming index) ของกะทิเดิมน้ำมันชั้นผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	97.059 ^a	3	32.353	14.766	.001
Intercept	69513.525	1	69513.525	31727.129	.000
trt	97.059	3	32.353	14.766	.001
Error	17.528	8	2.191		
Total	69628.112	12			
Corrected Total	114.586	11			

a. R Squared = .847 (Adjusted R Squared = .790)

ตารางที่ ค.168 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	94.118 ^a	5	18.824	6.817	.003
Intercept	88144.431	1	88144.431	31919.717	.000
trt	94.118	5	18.824	6.817	.003
Error	33.137	12	2.761		
Total	88271.687	18			
Corrected Total	127.256	17			

a. R Squared = .740 (Adjusted R Squared = .631)

ตารางที่ ค.169 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	82.335 ^a	5	16.467	1.649	.221
Intercept	103423.474	1	103423.474	10354.184	.000
trt	82.335	5	16.467	1.649	.221
Error	119.863	12	9.989		
Total	103625.671	18			
Corrected Total	202.197	17			

a. R Squared = .407 (Adjusted R Squared = .160)

ตารางที่ ค.170 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	86.320 ^a	5	17.264	1.501	.261
Intercept	107218.980	1	107218.980	9322.005	.000
trt	86.320	5	17.264	1.501	.261
Error	138.020	12	11.502		
Total	107443.320	18			
Corrected Total	224.340	17			

a. R Squared = .385 (Adjusted R Squared = .128)

ตารางที่ ค.171 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการแยกชั้นน้ำมัน (creaming index) ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	111.798 ^a	5	22.360	2.172	.126
Intercept	92536.349	1	92536.349	8987.280	.000
trt	111.798	5	22.360	2.172	.126
Error	123.556	12	10.296		
Total	92771.704	18			
Corrected Total	235.355	17			

a. R Squared = .475 (Adjusted R Squared = .256)

ตารางที่ ค.172 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	222.149 ^a	3	74.050	38803.323	.000
Intercept	69639.185	1	69639.185	36492149.454	.000
trt	222.149	3	74.050	38803.323	.000
Error	.015	8	.002		
Total	69861.350	12			
Corrected Total	222.164	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.173 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.011 ^a	3	.004	21.127	.000
Intercept	.869	1	.869	4968.048	.000
trt	.011	3	.004	21.127	.000
Error	.001	8	.000		
Total	.882	12			
Corrected Total	.012	11			

a. R Squared = .888 (Adjusted R Squared = .846)



ตารางที่ ค.174 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตรใน วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.438 ^a	3	9.146	109754.000	.000
Intercept	153.082	1	153.082	1836979.600	.000
trt	27.438	3	9.146	109754.000	.000
Error	.001	8	8.333E-5		
Total	180.521	12			
Corrected Total	27.439	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.175 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.749 ^a	3	9.250	285.996	.000
Intercept	67416.026	1	67416.026	2084494.495	.000
trt	27.749	3	9.250	285.996	.000
Error	.259	8	.032		
Total	67444.034	12			
Corrected Total	28.007	11			

a. R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .987)

ตารางที่ ค.176 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.112 ^a	3	.037	194.362	.000
Intercept	.686	1	.686	3581.261	.000
trt	.112	3	.037	194.362	.000
Error	.002	8	.000		
Total	.800	12			
Corrected Total	.113	11			

a. R Squared = .986 (Adjusted Squared = .981)

ตารางที่ ค.177 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนใน วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23.850 ^a	3	7.950	1574.288	.000
Intercept	133.600	1	133.600	26455.472	.000
trt	23.850	3	7.950	1574.288	.000
Error	.040	8	.005		
Total	157.491	12			
Corrected Total	23.891	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.178 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	313.815 ^a	3	104.605	3284.297	.000
Intercept	62084.222	1	62084.222	1949269.125	.000
trt	313.815	3	104.605	3284.297	.000
Error	.255	8	.032		
Total	62398.291	12			
Corrected Total	314.069	11			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.179 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.608 ^a	3	.203	736.444	.000
Intercept	.886	1	.886	3220.485	.000
trt	.608	3	.203	736.444	.000
Error	.002	8	.000		
Total	1.495	12			
Corrected Total	.610	11			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.180 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.568 ^a	3	1.856	843.692	.000
Intercept	111.752	1	111.752	50796.379	.000
trt	5.568	3	1.856	843.692	.000
Error	.018	8	.002		
Total	117.338	12			
Corrected Total	5.586	11			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.181 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิเดิมนามีลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	292.836 ^a	3	97.612	513.680	.000
Intercept	59796.789	1	59796.789	314678.537	.000
trt	292.836	3	97.612	513.680	.000
Error	1.520	8	.190		
Total	60091.145	12			
Corrected Total	294.356	11			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)



ตารางที่ ค.182 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เดิมนามีลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.115 ^a	3	.372	1537.977	.000
Intercept	.930	1	.930	3846.759	.000
trt	1.115	3	.372	1537.977	.000
Error	.002	8	.000		
Total	2.047	12			
Corrected Total	1.117	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.183 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.871 ^a	3	1.290	69.067	.000
Intercept	76.154	1	76.154	4076.061	.000
trt	3.871	3	1.290	69.067	.000
Error	.149	8	.019		
Total	80.175	12			
Corrected Total	4.021	11			

a. R Squared = .963 (Adjusted R Squared = .949)

ตารางที่ ค.184 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	366.603 ^a	3	122.201	33788.270	.000
Intercept	57901.856	1	57901.856	16009729.806	.000
trt	366.603	3	122.201	33788.270	.000
Error	.029	8	.004		
Total	58268.488	12			
Corrected Total	366.632	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.185 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.775 ^a	3	.592	1365.410	.000
Intercept	.608	1	.608	1401.923	.000
trt	1.775	3	.592	1365.410	.000
Error	.003	8	.000		
Total	2.386	12			
Corrected Total	1.779	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)



ตารางที่ ค.186 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของกะทิเติมนาอิมัลชันแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

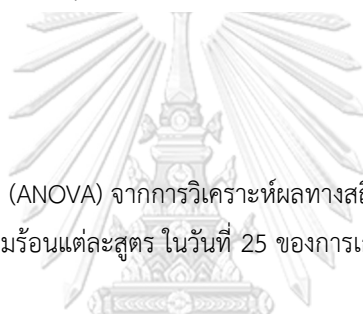
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.362 ^a	3	1.787	381.648	.000
Intercept	47.880	1	47.880	10223.504	.000
trt	5.362	3	1.787	381.648	.000
Error	.037	8	.005		
Total	53.280	12			
Corrected Total	5.400	11			

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ตารางที่ ค.187 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมณาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	686.001 ^a	3	228.667	1037.666	.000
Intercept	53421.370	1	53421.370	242420.373	.000
trt	686.001	3	228.667	1037.666	.000
Error	1.763	8	.220		
Total	54109.133	12			
Corrected Total	687.764	11			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)



ตารางที่ ค.188 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมณาอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

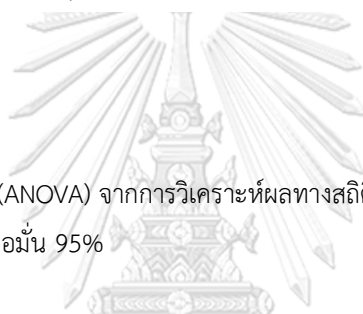
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.423 ^a	3	.808	96924.000	.000
Intercept	.124	1	.124	14884.000	.000
trt	2.423	3	.808	96924.000	.000
Error	6.667E-5	8	8.333E-6		
Total	2.547	12			
Corrected Total	2.423	11			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

ตารางที่ ค.189 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1173.520 ^a	5	234.704	1596.746	.000
Intercept	80008.000	1	80008.000	544313.253	.000
trt	1173.520	5	234.704	1596.746	.000
Error	1.764	12	.147		
Total	81183.284	18			
Corrected Total	1175.283	17			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)



ตารางที่ ค.190 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.341 ^a	5	.468	1053.500	.000
Intercept	2.539	1	2.539	5712.200	.000
trt	2.341	5	.468	1053.500	.000
Error	.005	12	.000		
Total	4.885	18			
Corrected Total	2.346	17			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

ตารางที่ ค.191 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.139 ^a	5	16.028	936.087	.000
Intercept	88.091	1	88.091	5144.816	.000
trt	80.139	5	16.028	936.087	.000
Error	.205	12	.017		
Total	168.436	18			
Corrected Total	80.345	17			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.192 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	110.963 ^a	5	22.193	1864.059	.000
Intercept	95079.976	1	95079.976	7986185.573	.000
trt	110.963	5	22.193	1864.059	.000
Error	.143	12	.012		
Total	95191.082	18			
Corrected Total	111.106	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.193 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.639 ^a	5	.128	575.485	.000
Intercept	.002	1	.002	9.025	.011
trt	.639	5	.128	575.485	.000
Error	.003	12	.000		
Total	.644	18			
Corrected Total	.642	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.194 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.726 ^a	5	1.945	914.218	.000
Intercept	177.473	1	177.473	83407.582	.000
trt	9.726	5	1.945	914.218	.000
Error	.026	12	.002		
Total	187.225	18			
Corrected Total	9.752	17			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ตารางที่ ค.195 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	411.066 ^a	5	82.213	570.156	.000
Intercept	91493.586	1	91493.586	634515.337	.000
trt	411.066	5	82.213	570.156	.000
Error	1.730	12	.144		
Total	91906.383	18			
Corrected Total	412.797	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)



ตารางที่ ค.196 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.343 ^a	5	.069	649.821	.000
Intercept	.079	1	.079	745.316	.000
trt	.343	5	.069	649.821	.000
Error	.001	12	.000		
Total	.423	18			
Corrected Total	.344	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.197 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	42.189 ^a	5	8.438	534.981	.000
Intercept	170.140	1	170.140	10787.304	.000
trt	42.189	5	8.438	534.981	.000
Error	.189	12	.016		
Total	212.518	18			
Corrected Total	42.378	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.198 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า L^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	158.954 ^a	5	31.791	1871.887	.000
Intercept	103732.533	1	103732.533	6107901.873	.000
trt	158.954	5	31.791	1871.887	.000
Error	.204	12	.017		
Total	103891.692	18			
Corrected Total	159.158	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ ค.199 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า a^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.036 ^a	5	.207	540.730	.000
Intercept	4.930	1	4.930	12860.348	.000
trt	1.036	5	.207	540.730	.000
Error	.005	12	.000		
Total	5.971	18			
Corrected Total	1.041	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.200 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.623 ^a	5	.725	590.155	.000
Intercept	48.183	1	48.183	39244.457	.000
trt	3.623	5	.725	590.155	.000
Error	.015	12	.001		
Total	51.821	18			
Corrected Total	3.638	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.201 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1166.829 ^a	3	388.943	131.560	.000
Intercept	2970.229	1	2970.229	1004.681	.000
trt	1166.829	3	388.943	131.560	.000
Error	23.651	8	2.956		
Total	4160.709	12			
Corrected Total	1190.480	11			

a. R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .973)

ตารางที่ ค.202 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1218.932 ^a	3	406.311	141.285	.000
Intercept	1874.714	1	1874.714	651.887	.000
trt	1218.932	3	406.311	141.285	.000
Error	23.007	8	2.876		
Total	3116.653	12			
Corrected Total	1241.939	11			

a. R Squared = .981 (Adjusted R Squared = .975)

ตารางที่ ค.203 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	726.288 ^a	3	242.096	235.744	.000
Intercept	1385.698	1	1385.698	1349.340	.000
trt	726.288	3	242.096	235.744	.000
Error	8.216	8	1.027		
Total	2120.201	12			
Corrected Total	734.504	11			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .985)

ตารางที่ ค.204 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	487.555 ^a	3	162.518	35.901	.000
Intercept	728.956	1	728.956	161.031	.000
trt	487.555	3	162.518	35.901	.000
Error	36.215	8	4.527		
Total	1252.726	12			
Corrected Total	523.769	11			

a. R Squared = .931 (Adjusted R Squared = .905)

ตารางที่ ค.205 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	899.700 ^a	3	299.900	25.776	.000
Intercept	2153.943	1	2153.943	185.125	.000
trt	899.700	3	299.900	25.776	.000
Error	93.080	8	11.635		
Total	3146.724	12			
Corrected Total	992.781	11			

a. R Squared = .906 (Adjusted R Squared = .871)

ตารางที่ ค.206 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

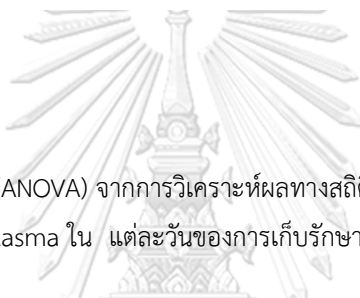
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	375.376 ^a	3	125.125	6.384	.016
Intercept	1050.036	1	1050.036	53.578	.000
trt	375.376	3	125.125	6.384	.016
Error	156.787	8	19.598		
Total	1582.200	12			
Corrected Total	532.163	11			

a. R Squared = .705 (Adjusted R Squared = .595)

ตารางที่ ค.207 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	682.729 ^a	5	136.546	16.482	.000
Intercept	7956.678	1	7956.678	960.413	.000
trt	682.729	5	136.546	16.482	.000
Error	99.416	12	8.285		
Total	8738.822	18			
Corrected Total	782.144	17			

a. R Squared = .873 (Adjusted R Squared = .820)



ตารางที่ ค.208 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP+NE10%+Plasma ใน แต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	891.020 ^a	5	178.204	48.739	.000
Intercept	10715.757	1	10715.757	2930.777	.000
trt	891.020	5	178.204	48.739	.000
Error	43.875	12	3.656		
Total	11650.653	18			
Corrected Total	934.896	17			

a. R Squared = .953 (Adjusted R Squared = .934)

ตารางที่ ค.209 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CM+NE10% +Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	852.083 ^a	5	170.417	57.899	.000
Intercept	7648.249	1	7648.249	2598.512	.000
trt	852.083	5	170.417	57.899	.000
Error	35.320	12	2.943		
Total	8535.652	18			
Corrected Total	887.403	17			

a. R Squared = .960 (Adjusted R Squared = .944)

ตารางที่ ค.210 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ของ CP ใน แต่ละวันขอ รักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4086.670 ^a	5	817.334	542.278	.000
Intercept	22917.379	1	22917.379	15205.037	.000
trt	4086.670	5	817.334	542.278	.000
Error	18.087	12	1.507		
Total	27022.136	18			
Corrected Total	4104.757	17			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ตารางที่ ค.211 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3200.112 ^a	3	1066.704	1304.095	.000
Intercept	18163.515	1	18163.515	22205.743	.000
trt	3200.112	3	1066.704	1304.095	.000
Error	6.544	8	.818		
Total	21370.170	12			
Corrected Total	3206.655	11			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)



ตารางที่ ค.222 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1796.383 ^a	3	598.794	220.095	.000
Intercept	4535.117	1	4535.117	1666.941	.000
trt	1796.383	3	598.794	220.095	.000
Error	21.765	8	2.721		
Total	6353.264	12			
Corrected Total	1818.148	11			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .984)

ตารางที่ ค.223 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	628.445 ^a	3	209.482	51.125	.000
Intercept	5403.545	1	5403.545	1318.760	.000
trt	628.445	3	209.482	51.125	.000
Error	32.780	8	4.097		
Total	6064.769	12			
Corrected Total	661.224	11			

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .932)



ตารางที่ ค.224 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	69.202 ^a	3	23.067	12.164	.002
Intercept	8295.345	1	8295.345	4374.475	.000
trt	69.202	3	23.067	12.164	.002
Error	15.170	8	1.896		
Total	8379.718	12			
Corrected Total	84.372	11			

a. R Squared = .820 (Adjusted R Squared = .753)

ตารางที่ ค.225 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	68.672 ^a	3	22.891	6.262	.017
Intercept	4482.470	1	4482.470	1226.247	.000
trt	68.672	3	22.891	6.262	.017
Error	29.244	8	3.655		
Total	4580.385	12			
Corrected Total	97.916	11			

a. R Squared = .701 (Adjusted R Squared = .589)

ตารางที่ ค.226 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร วันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103.240 ^a	3	34.413	3.019	.094
Intercept	9004.520	1	9004.520	789.910	.000
trt	103.240	3	34.413	3.019	.094
Error	91.195	8	11.399		
Total	9198.956	12			
Corrected Total	194.436	11			

a. R Squared = .531 (Adjusted R Squared = .355)

ตารางที่ ค.227 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	268.494 ^a	5	53.699	3.737	.028
Intercept	1322.922	1	1322.922	92.065	.000
trt	268.494	5	53.699	3.737	.028
Error	172.434	12	14.369		
Total	1763.850	18			
Corrected Total	440.928	17			

a. R Squared = .609 (Adjusted R Squared = .446)

ตารางที่ ค.228 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	132.610 ^a	5	26.522	6.765	.003
Intercept	874.184	1	874.184	222.983	.000
trt	132.610	5	26.522	6.765	.003
Error	47.045	12	3.920		
Total	1053.840	18			
Corrected Total	179.655	17			

a. R Squared = .738 (Adjusted R Squared = .629)

ตารางที่ ค.229 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	97.237 ^a	5	19.447	2.760	.069
Intercept	641.112	1	641.112	90.994	.000
trt	97.237	5	19.447	2.760	.069
Error	84.547	12	7.046		
Total	822.897	18			
Corrected Total	181.785	17			

a. R Squared = .535 (Adjusted R Squared = .341)

ตารางที่ ค.230 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการต้านออกซิเดชันโดยวิธี FRAP ของ CP ใน แต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	595.989 ^a	5	119.198	38.733	.000
Intercept	11105.709	1	11105.709	3608.776	.000
trt	595.989	5	119.198	38.733	.000
Error	36.929	12	3.077		
Total	11738.626	18			
Corrected Total	632.918	17			

a. R Squared = .942 (Adjusted R Squared = .917)

ตารางที่ ค.231 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มไขมันอิมัลชันผ่านพาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	60.797 ^a	3	20.266	802.741	.000
Intercept	30.683	1	30.683	1215.373	.000
trt	60.797	3	20.266	802.741	.000
Error	.202	8	.025		
Total	91.683	12			
Corrected Total	60.999	11			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.232 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มไขมันอิมัลชันผ่านพาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

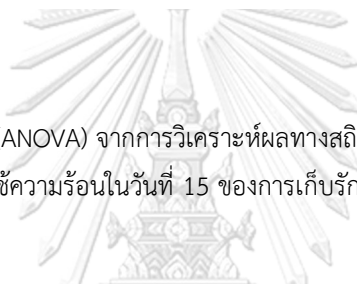
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.852 ^a	3	2.951	14.487	.001
Intercept	32.762	1	32.762	160.847	.000
trt	8.852	3	2.951	14.487	.001
Error	1.629	8	.204		
Total	43.243	12			
Corrected Total	10.482	11			

a. R Squared = .845 (Adjusted R Squared = .786)

ตารางที่ ค.233 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มนาโน อิมัลชันผ่านพาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16.496 ^a	3	5.499	9.162	.006
Intercept	166.043	1	166.043	276.662	.000
trt	16.496	3	5.499	9.162	.006
Error	4.801	8	.600		
Total	187.341	12			
Corrected Total	21.297	11			

a. R Squared = .775 (Adjusted R Squared = .690)



ตารางที่ ค.234 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มนาโนอิมัลชันผ่านพาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.149 ^a	3	.716	1.391	.314
Intercept	150.831	1	150.831	292.855	.000
trt	2.149	3	.716	1.391	.314
Error	4.120	8	.515		
Total	157.101	12			
Corrected Total	6.270	11			

a. R Squared = .343 (Adjusted R Squared = .096)

ตารางที่ ค.235 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของกะทิพาสเจอร์ไรส์ เต็มหนาโนอิมัลชันผ่านพาสมาที่ไม่ใช้ความร้อนในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.192 ^a	3	2.731	20.510	.000
Intercept	116.633	1	116.633	876.052	.000
trt	8.192	3	2.731	20.510	.000
Error	1.065	8	.133		
Total	125.890	12			
Corrected Total	9.257	11			

a. R Squared = .885 (Adjusted R Squared = .842)



ตารางที่ ค.236 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CM+NE10% ใน แต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35.200 ^a	5	7.040	12.367	.000
Intercept	149.087	1	149.087	261.900	.000
trt	35.200	5	7.040	12.367	.000
Error	6.831	12	.569		
Total	191.118	18			
Corrected Total	42.031	17			

a. R Squared = .837 (Adjusted R Squared = .770)

ตารางที่ ค.237 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.322 ^a	5	9.864	20.438	.000
Intercept	129.347	1	129.347	267.996	.000
trt	49.322	5	9.864	20.438	.000
Error	5.792	12	.483		
Total	184.461	18			
Corrected Total	55.114	17			

a. R Squared = .895 (Adjusted R Squared = .851)



ตารางที่ ค.238 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	153.704 ^a	5	30.741	87.226	.000
Intercept	218.996	1	218.996	621.396	.000
trt	153.704	5	30.741	87.226	.000
Error	4.229	12	.352		
Total	376.929	18			
Corrected Total	157.933	17			

a. R Squared = .973 (Adjusted R Squared = .962)

ตารางที่ ค.239 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเพอร์ออกไซด์ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	61.155 ^a	5	12.231	143.300	.000
Intercept	142.196	1	142.196	1665.989	.000
trt	61.155	5	12.231	143.300	.000
Error	1.024	12	.085		
Total	204.375	18			
Corrected Total	62.179	17			

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .977)

ตารางที่ ค.240 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	3	.002	3.959	.053
Intercept	.280	1	.280	530.280	.000
trt	.006	3	.002	3.959	.053
Error	.004	8	.001		
Total	.290	12			
Corrected Total	.010	11			

a. R Squared = .598 (Adjusted R Squared = .447)

ตารางที่ ค.241 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติม นาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.010 ^a	3	.003	1.498	.287
Intercept	.135	1	.135	58.128	.000
trt	.010	3	.003	1.498	.287
Error	.019	8	.002		
Total	.164	12			
Corrected Total	.029	11			

a. R Squared = .360 (Adjusted R Squared = .120)



ตารางที่ ค.242 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติม นาโนอิมัลชัน ผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.030 ^a	3	.010	9.788	.005
Intercept	.099	1	.099	98.080	.000
trt	.030	3	.010	9.788	.005
Error	.008	8	.001		
Total	.137	12			
Corrected Total	.038	11			

a. R Squared = .786 (Adjusted R Squared = .706)

ตารางที่ ค.243 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.038 ^a	3	.013	10.166	.004
Intercept	.106	1	.106	85.270	.000
trt	.038	3	.013	10.166	.004
Error	.010	8	.001		
Total	.154	12			
Corrected Total	.048	11			

a. R Squared = .792 (Adjusted R Squared = .714)



ตารางที่ ค.244 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนานาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

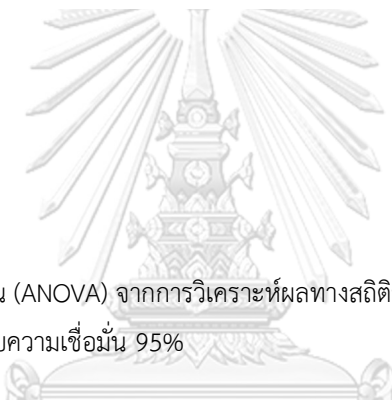
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.009 ^a	3	.003	19.843	.000
Intercept	.028	1	.028	183.456	.000
trt	.009	3	.003	19.843	.000
Error	.001	8	.000		
Total	.038	12			
Corrected Total	.010	11			

a. R Squared = .882 (Adjusted R Squared = .837)

ตารางที่ ค.245 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติม นาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ละสูตร ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.008 ^a	3	.003	150.505	.000
Intercept	.006	1	.006	298.538	.000
trt	.008	3	.003	150.505	.000
Error	.000	8	1.877E-5		
Total	.014	12			
Corrected Total	.009	11			

a. R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .976)



ตารางที่ ค.246 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CM+NE10% ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

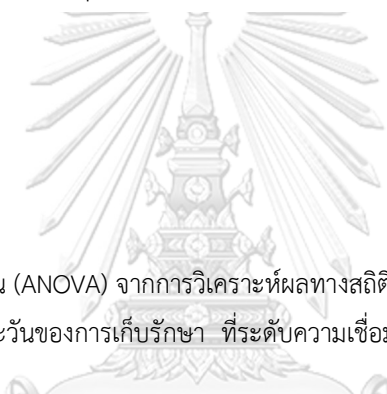
Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.041 ^a	5	.008	7.483	.002
Intercept	.178	1	.178	164.407	.000
trt	.041	5	.008	7.483	.002
Error	.013	12	.001		
Total	.232	18			
Corrected Total	.054	17			

a. R Squared = .757 (Adjusted R Squared = .656)

ตารางที่ ค.247 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.065 ^a	5	.013	8.037	.002
Intercept	.151	1	.151	93.010	.000
trt	.065	5	.013	8.037	.002
Error	.020	12	.002		
Total	.236	18			
Corrected Total	.085	17			

a. R Squared = .770 (Adjusted R Squared = .674)



ตารางที่ ค.248 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CM+NE10%+Plasma ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.069 ^a	5	.014	78.847	.000
Intercept	.103	1	.103	588.601	.000
trt	.069	5	.014	78.847	.000
Error	.002	12	.000		
Total	.174	18			
Corrected Total	.071	17			

a. R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .958)

ตารางที่ ค.249 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า TBRAS ของ CP ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.045 ^a	5	.009	14.308	.000
Intercept	.102	1	.102	161.914	.000
trt	.045	5	.009	14.308	.000
Error	.008	12	.001		
Total	.155	18			
Corrected Total	.053	17			

a. R Squared = .856 (Adjusted R Squared = .797)



ตารางที่ ค.250 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

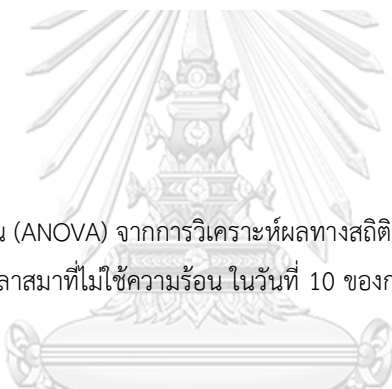
Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	42356334348.917 ^a	3	14118778116.306	739.843	.000
Intercept	14225305380.750	1	14225305380.750	745.426	.000
trt	42356334348.917	3	14118778116.306	739.843	.000
Error	152667759.333	8	19083469.917		
Total	56734307489.000	12			
Corrected Total	42509002108.250	11			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

ตารางที่ ค.251 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	162002672425.000 ^a	3	54000890808.333	237.171	.000
Intercept	56758632008.333	1	56758632008.333	249.283	.000
trt	162002672425.000	3	54000890808.333	237.171	.000
Error	1821503666.667	8	227687958.333		
Total	220582808100.000	12			
Corrected Total	163824176091.667	11			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .985)



ตารางที่ ค.252 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

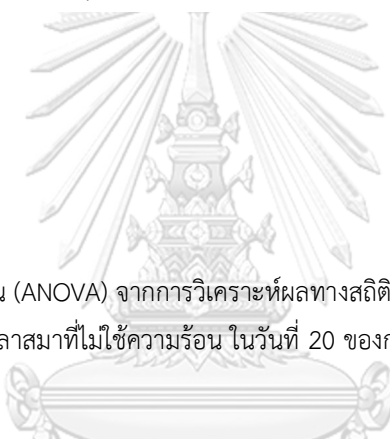
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5755570866.667 ^a	3	1918523622.222	6.644	.015
Intercept	2273152133.333	1	2273152133.333	7.873	.023
trt	5755570866.667	3	1918523622.222	6.644	.015
Error	2309958400.000	8	288744800.000		
Total	10338681400.000	12			
Corrected Total	8065529266.667	11			

a. R Squared = .714 (Adjusted R Squared = .606)

ตารางที่ ค.253 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	209683673558.333 ^a	3	69894557852.778	59.909	.000
Intercept	208784510208.333	1	208784510208.333	178.958	.000
trt	209683673558.333	3	69894557852.778	59.909	.000
Error	9333358333.333	8	1166669791.667		
Total	427801542100.000	12			
Corrected Total	219017031891.667	11			

a. R Squared = .957 (Adjusted R Squared = .941)



ตารางที่ ค.254 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 20 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	809198876691.667 ^a	3	269732958897.222	9.511	.005
Intercept	758780550008.333	1	758780550008.333	26.756	.001
trt	809198876691.667	3	269732958897.222	9.511	.005
Error	226877335800.000	8	28359666975.000		
Total	1794856762500.000	12			
Corrected Total	1036076212491.667	11			

a. R Squared = .781 (Adjusted R Squared = .699)

ตารางที่ ค.254 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกะทิพาสเจอร์ไรส์เติมนาโนอิมัลชันผ่านพลาสติกที่ไม่ใช้ความร้อน ในวันที่ 25 ของการเก็บรักษา ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	47731426176691.664 ^a	3	15910475392230.555	73.426	.000
Intercept	48377981198008.305	1	48377981198008.305	223.263	.000
trt	47731426176691.664	3	15910475392230.555	73.426	.000
Error	1733489645000.000	8	216686205625.000		
Total	97842897019700.000	12			
Corrected Total	49464915821691.664	11			

a. R Squared = .965 (Adjusted R Squared = .952)



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาไทย

- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 389) พ.ศ. 2561 เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร. คัดจากราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่มที่ 135, ตอนพิเศษ 178 ง (ลงวันที่ 25 กรกฎาคม 2561).
- นิศรา ฮะเจริญ, 2554. การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไรส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ฉบับที่ 1371) พ.ศ. 2531 เรื่อง แก๊โซมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (แก้ไขครั้งที่ 1). คัดจากราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่มที่ 102, ตอนพิเศษ 133 (ลงวันที่ 25 กันยายน 2528).
- วารภรณ์ ประเสริฐ, 2560. นาโนอิมัลชันและการผลิตนาโนอิมัลชันโดยกระบวนการพลังงานต่ำ. วารสารอาหาร. ปีที่ 47 ฉบับที่ 2 (เมษายน-มิถุนายน 2560).
- วรนนท์ รังสีมาวงศ์, ธนะเศรษฐ์ จ้าวทริภูพัฒน์, 2557. นาโนอิมัลชันในระบบนำส่งยาผ่านทางผิวหนัง. บทความวิชาการ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2557).
- ธีรวรรณ บุญญวรรณ. 2558. พิสิกส์ของพลาสติก. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์ Science CMU Printing Service. 291 น.
- นิพัทธ์ ลิ้มสงวน, 2563. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปและถนอมอาหาร: เทคโนโลยีโคลด์พลาสติก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ปีที่ 50 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มีนาคม 2563).

ภาษาอังกฤษ

- Ahmad, H., Khera, R. A., Hanif, M. A., Ayub, M. A., & Jilani, M. I. (2020). Vanilla. In *Medicinal Plants of South Asia* (pp. 657-669). Elsevier.
- Almeida, F. D. L., Cavalcante, R. S., Cullen, P. J., Frias, J. M., Bourke, P., Fernandes, F. A., & Rodrigues, S. (2015). Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32, 127-135.
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., Arriaga, A. M. C., do Prado, G. M., de Carvalho Magalhães, C. E., Maia, G. A., & de Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159.
- Alyaqoubi, S., Abdullah, A., Samudi, M., Abdullah, N., Addai, Z. R., & Musa, K. H. (2015). Study of antioxidant activity and physicochemical properties of coconut milk (Pati santan) in Malaysia. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(4), 967-973.
- Anwar, S. H. (2015). Lipid Oxidation In Oil-In-Water Emulsions: A Mini Review. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 7(2).
- Ardani, H., Imawan, C., Handayani, W., Djuhana, D., Harmoko, A., & Fauzia, V. (2017). Enhancement of the stability of silver nanoparticles synthesized using aqueous extract of Diospyros

- discolor Willd. leaves using polyvinyl alcohol. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,
- Ariffin, T. S. T., Yahya, E., & Husin, H. (2016). The rheology of light crude oil and water-in-oil-emulsion. *Procedia engineering*, *148*, 1149-1155.
- Attri, P., Sarinont, T., Kim, M., Amano, T., Koga, K., Cho, A. E., Ha Choi, E., & Shiratani, M. (2015). Influence of ionic liquid and ionic salt on protein against the reactive species generated using dielectric barrier discharge plasma. *Scientific reports*, *5*(1), 1-13.
- Bárdos, L., & Baránková, H. (2010). Cold atmospheric plasma: Sources, processes, and applications. *Thin solid films*, *518*(23), 6705-6713.
- Bezerra, C. F., Camilo, C. J., do Nascimento Silva, M. K., de Freitas, T. S., Ribeiro-Filho, J., & Coutinho, H. D. M. (2017). Vanillin selectively modulates the action of antibiotics against resistant bacteria. *Microbial pathogenesis*, *113*, 265-268.
- Bie, P., Li, X., Xie, F., Chen, L., Zhang, B., & Li, L. (2016). Supramolecular structure and thermal behavior of cassava starch treated by oxygen and helium glow-plasmas. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *34*, 336-343.
- Bondet, V., Brand-Williams, W., & Berset, C. (1997). Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH. free radical method. *LWT-Food Science and Technology*, *30*(6), 609-615.
- Brisset, J.-L., Fanmoe, J., & Hnatiuc, E. (2016). Degradation of surfactant by cold plasma treatment. *Journal of environmental chemical engineering*, *4*(1), 385-387.
- Brucker, R. M., Harris, R. N., Schwantes, C. R., Gallaher, T. N., Flaherty, D. C., Lam, B. A., & Minbiole, K. P. (2008). Amphibian chemical defense: antifungal metabolites of the microsymbiont *Janthinobacterium lividum* on the salamander *Plethodon cinereus*. *Journal of chemical ecology*, *34*(11), 1422-1429.
- Campolo, O., Giunti, G., Laigle, M., Michel, T., & Palmeri, V. (2020). Essential oil-based nano-emulsions: Effect of different surfactants, sonication and plant species on physicochemical characteristics. *Industrial Crops and Products*, *157*, 112935.
- Cancel, L., Rivera-Ortiz, J., & Santos-Sanchez, M. (1971). Effect of the amount of water on the extraction of coconut milk at two temperature ranges. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, *55*(2), 167-173.
- Canselier, J., Delmas, H., Wilhelm, A., & Abismail, B. (2002). Ultrasound emulsification—an overview. *Journal of dispersion science and technology*, *23*(1-3), 333-349.
- Cava-Roda, R. M., Taboada-Rodríguez, A., Valverde-Franco, M. T., & Marín-Iniesta, F. (2012). Antimicrobial activity of vanillin and mixtures with cinnamon and clove essential oils in controlling *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7 in milk. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(6), 2120-2131.

- Chanamai, R., & McClements, D. J. (2000). Creaming stability of flocculated monodisperse oil-in-water emulsions. *Journal of colloid and interface science*, 225(1), 214-218.
- Chantrapornchai, W., Clydesdale, F., & McClements, D. (2001). Influence of flocculation on optical properties of emulsions. *Journal of food science*, 66(3), 464-469.
- Cheong, A. M., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2018). Stability of bioactive compounds and antioxidant activities of kenaf seed oil-in-water nanoemulsions under different storage temperatures. *Journal of food science*, 83(10), 2457-2465.
- CODEX Alimentarius Commission. (2003). Codex Standard for Aqueous Coconut Product-Coconut Milk and Coconut Cream. FAO/WHO Food Standards Programme.
- Conrads, H., & Schmidt, M. (2000). Plasma generation and plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4), 441.
- Coulter, T. P. (2009). *Food: the chemistry of its components*. Royal Society of Chemistry.
- Coutinho, N. M., Silveira, M. R., Fernandes, L. M., Moraes, J., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S., Ranadheera, C. S., & Borges, F. O. (2019). Processing chocolate milk drink by low-pressure cold plasma technology. *Food Chemistry*, 278, 276-283.
- Coutinho, N. M., Silveira, M. R., Rocha, R. S., Moraes, J., Ferreira, M. V. S., Pimentel, T. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S., & Ranadheera, C. S. (2018). Cold plasma processing of milk and dairy products. *Trends in Food Science & Technology*, 74, 56-68.
- de la Torre-Robles, A., Monteagudo, C., Mariscal-Arcas, M., Lorenzo-Tovar, M. L., Olea-Serrano, F., & Rivas, A. (2019). Effect of Light Exposure on the Quality and Phenol Content of Commercial Extra Virgin Olive Oil during 12-Month Storage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(4), 381-389.
- Demetriades, K., & McClements, D. J. (1998). Influence of pH and heating on physicochemical properties of whey protein-stabilized emulsions containing a nonionic surfactant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 3936-3942.
- Demetriades, K., & McClements, D. J. (1999). Ultrasonic attenuation spectroscopy study of flocculation in protein stabilized emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 150(1-3), 45-54.
- Dey, T. B., Chakraborty, S., Jain, K. K., Sharma, A., & Kuhad, R. C. (2016). Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 53, 60-74.
- Di Maio, G., Pittia, P., Mazzarino, L., Maraschin, M., & Kuhnen, S. (2019). Cow milk enriched with nanoencapsulated phenolic extract of jaboticaba (*Plinia peruviana*). *Journal of Food Science and technology*, 56(3), 1165-1173.

- Dimzon, I. K. D., Tantengco, G. B., Oquendo, N. A., & Dayrit, F. M. (2020). Profile of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Cold-Processed and Heat-Treated Virgin Coconut Oil (VCO) Samples. Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings,
- Dirks, B. P., Dobrynin, D., Fridman, G., Mukhin, Y., Fridman, A., & Quinlan, J. J. (2012). Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to reduce *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*. *Journal of Food Protection*, *75*(1), 22-28.
- Donsi, F., & Ferrari, G. (2016). Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of biotechnology*, *233*, 106-120.
- Durmus, M. (2020). The effects of nanoemulsions based on citrus essential oils (orange, mandarin, grapefruit, and lemon) on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets at $4\pm 2^\circ\text{C}$. *Journal of Food Safety*, *40*(1), e12718.
- Elsherbiny, N. M., Younis, N. N., Shaheen, M. A., & Elseweidy, M. M. (2016). The synergistic effect between vanillin and doxorubicin in ehrlich ascites carcinoma solid tumor and MCF-7 human breast cancer cell line. *Pathology-Research and Practice*, *212*(9), 767-777.
- Escueta, E. (1980). Stability studies on coconut milk and plant protein isolates based products. I. Physical properties. *Philippine journal of coconut studies*.
- Floury, J., Desrumaux, A., & Lardières, J. (2000). Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *1*(2), 127-134.
- Food, & Administration, D. (2012). Bacteriological Analytical Manual Online. 2001. *Yeast, Molds and Mycotoxins. Chapter, 18*.
- Freitas, C., & Müller, R. H. (1998). Effect of light and temperature on zeta potential and physical stability in solid lipid nanoparticle (SLN™) dispersions. *International journal of pharmaceutics*, *168*(2), 221-229.
- Ganesan, A. R., Shanmugam, M., Ilansuriyan, P., Anandhakumar, R., & Balasubramanian, B. (2019). Composite film for edible oil packaging from carrageenan derivative and konjac glucomannan: Application and quality evaluation. *Polymer Testing*, *78*, 105936.
- Gavahian, M., Chu, Y.-H., Khaneghah, A. M., Barba, F. J., & Misra, N. (2018). A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. *Trends in Food Science & Technology*, *77*, 32-41.
- Gharibzahedi, S. M. T., Hernández-Ortega, C., Welti-Chanes, J., Putnik, P., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., Escobedo-Avellaneda, Z., & Roohinejad, S. (2019). High pressure processing of food-grade emulsion systems: Antimicrobial activity, and effect on the physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, *87*, 307-320.

- Ghosh, V., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2013). Ultrasonic emulsification of food-grade nanoemulsion formulation and evaluation of its bactericidal activity. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(1), 338-344.
- Ghosh, V., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2014). Eugenol-loaded antimicrobial nanoemulsion preserves fruit juice against, microbial spoilage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 114, 392-397.
- Gonçalves, A., Nikmaram, N., Roohinejad, S., Estevinho, B. N., Rocha, F., Greiner, R., & McClements, D. J. (2018). Production, properties, and applications of solid self-emulsifying delivery systems (S-SEDS) in the food and pharmaceutical industries. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 538, 108-126.
- Guillen-Sans, R., & Guzman-Chozas, M. (1998). The thiobarbituric acid (TBA) reaction in foods: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 38(4), 315-350.
- Gupta, A., Eral, H. B., Hatton, T. A., & Doyle, P. S. (2016). Nanoemulsions: formation, properties and applications. *Soft matter*, 12(11), 2826-2841.
- Hajhoseini, A., Sharifan, A., & Yousefi, H. (2020). Effects of atmospheric cold plasma on microbial growth of *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat fish products. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(1), 262-271.
- Holetz, F. B., Pessini, G. L., Sanches, N. R., Cortez, D. A. G., Nakamura, C. V., & Dias Filho, B. P. (2002). Screening of some plants used in the Brazilian folk medicine for the treatment of infectious diseases. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 97(7), 1027-1031.
- Hunter, R. J. (2013). *Zeta potential in colloid science: principles and applications* (Vol. 2). Academic press.
- Indu, C., Thangavel, K., & Amirtham, D. (2019). Influence of ultra-sonication on stability and physicochemical properties of coconut milk. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 3565-3570.
- Jafari, S. M., He, Y., & Bhandari, B. (2007). Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques. *Journal of Food Engineering*, 82(4), 478-488.
- Jaiswal, M., Dudhe, R., & Sharma, P. (2015). Nanoemulsion: an advanced mode of drug delivery system. *3 Biotech*, 5(2), 123-127.
- JENSEN, R. G. (1995). F. Miscellaneous Factors Affecting Composi. *Handbook of milk composition*, 237.
- Ji, Y., Hu, W., Liao, J., Jiang, A., Xiu, Z., Gaowa, S., Guan, Y., Yang, X., Feng, K., & Liu, C. (2020). Effect of atmospheric cold plasma treatment on antioxidant activities and reactive oxygen species production in postharvest blueberries during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5586-5595.

- Jiang, J., Oberdörster, G., & Biswas, P. (2009). Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticle dispersions for toxicological studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(1), 77-89.
- KAJS, T. M., Hagenmaier, R., Vanderzant, C., & Mattil, K. (1976). Microbiological evaluation of coconut and coconut products. *Journal of food science*, 41(2), 352-356.
- Kale, S. N., & Deore, S. L. (2017). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: a review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39.
- Khuenpet, K., Jittanit, W., Hongha, N., & Pairojkul, S. (2016). UHT skim coconut milk production and its quality. SHS Web of Conferences,
- Klimes, I., & Lamparsky, D. (1976). Vanilla volatiles--a comprehensive analysis. *International flavours and food additives*.
- Korachi, M., Ozen, F., Aslan, N., Vannini, L., Guerzoni, M. E., Gottardi, D., & Ekinci, F. Y. (2015). Biochemical changes to milk following treatment by a novel, cold atmospheric plasma system. *International Dairy Journal*, 42, 64-69.
- Kotta, S., Khan, A. W., Ansari, S., Sharma, R., & Ali, J. (2015). Formulation of nanoemulsion: a comparison between phase inversion composition method and high-pressure homogenization method. *Drug delivery*, 22(4), 455-466.
- Kumar, M., Bishnoi, R. S., Shukla, A. K., & Jain, C. P. (2019). Techniques for formulation of nanoemulsion drug delivery system: a review. *Preventive nutrition and food science*, 24(3), 225.
- Lee, H.-J., Jung, S., Jung, H.-S., Park, S.-H., Choe, W.-H., Ham, J.-S., & Jo, C. (2012). Evaluation of a dielectric barrier discharge plasma system for inactivating pathogens on cheese slices. *Journal of Animal Science and Technology*, 54(3), 191-198.
- Leong, T., Wooster, T., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2009). Minimising oil droplet size using ultrasonic emulsification. *Ultrasonics sonochemistry*, 16(6), 721-727.
- Li, Y., Kojtari, A., Friedman, G., Brooks, A. D., Fridman, A., & Ji, H.-F. (2014). Decomposition of L-valine under nonthermal dielectric barrier discharge plasma. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118(6), 1612-1620.
- Logaraj, T., Bhattacharya, S., Sankar, K. U., & Venkateswaran, G. (2008). Rheological behaviour of emulsions of avocado and watermelon oils during storage. *Food Chemistry*, 106(3), 937-943.
- Lončar, M., Jakovljević, M., Šubarić, D., Pavlič, M., Buzjak Služek, V., Cindrić, I., & Molnar, M. (2020). Coumarins in food and methods of their determination. *Foods*, 9(5), 645.
- Lovelyn, C., & Attama, A. A. (2011). Current state of nanoemulsions in drug delivery. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2(05), 626.

- Lu, X., Chen, J., Zheng, M., Guo, J., Qi, J., Chen, Y., Miao, S., & Zheng, B. (2019). Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents. *Ultrasonics sonochemistry*, *55*, 135-148.
- Maa, Y.-F., & Hsu, C. C. (1999). Performance of sonication and microfluidization for liquid-liquid emulsification. *Pharmaceutical development and technology*, *4*(2), 233-240.
- Mabesa, R., & del Rosario, R. (1979). Quality control in coconut milk processing, 2: microbial contaminants [study conducted in the Philippines]. *Philippine Agriculturist*.
- Mahdi Jafari, S., He, Y., & Bhandari, B. (2006). Nano-emulsion production by sonication and microfluidization—a comparison. *International journal of food properties*, *9*(3), 475-485.
- Marles, R. J., Compadre, C. M., & Farnsworth, N. R. (1987). Coumarin in vanilla extracts: its detection and significance. *Economic Botany*, *41*(1), 41-47.
- McClements, D. J. (2002). Theoretical prediction of emulsion color. *Advances in colloid and interface science*, *97*(1-3), 63-89.
- McClements, D. J. (2004). *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC press.
- McClements, D. J. (2007). Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical reviews in food science and nutrition*, *47*(7), 611-649.
- Mehta, D., Sharma, N., Bansal, V., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2019). Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *52*, 343-349.
- Miller, R. (2016). Emulsifiers: Types and Uses. *Encyclopedia of food and health*, 498-502.
- Misra, N., & Jo, C. (2017). Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, *64*, 74-86.
- Moghimi, R., Ghaderi, L., Rafati, H., Aliahmadi, A., & McClements, D. J. (2016). Superior antibacterial activity of nanoemulsion of *Thymus daenensis* essential oil against *E. coli*. *Food Chemistry*, *194*, 410-415.
- Moreau, M., Orange, N., & Feuilleley, M. (2008). Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination. *Biotechnology advances*, *26*(6), 610-617.
- Mudalige, T., Qu, H., Van Haute, D., Ansar, S. M., Paredes, A., & Ingle, T. (2019). Characterization of nanomaterials: Tools and challenges. *Nanomaterials for food applications*, 313-353.
- Nadeeshani, R., Wijayarathna, U. N., Prasadani, W. C., Ekanayake, S., Seneviratne, K. N., & Jayathilaka, N. (2015). Comparison of the basic nutritional characteristics of the first extract and second extract of coconut milk.

- Nejatian, M., & Abbasi, S. (2019). Formation of concentrated triglyceride nanoemulsions and nanogels: natural emulsifiers and high power ultrasound. *RSC advances*, 9(49), 28330-28344.
- Noriega, E., Shama, G., Laca, A., Díaz, M., & Kong, M. G. (2011). Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food microbiology*, 28(7), 1293-1300.
- Ofoedu, C. E., You, L., Osuji, C. M., Iwouno, J. O., Kabuo, N. O., Ojukwu, M., Agunwah, I. M., Chacha, J. S., Muobike, O. P., & Agunbiade, A. O. (2021). Hydrogen Peroxide Effects on Natural-Sourced Polysacchrides: Free Radical Formation/Production, Degradation Process, and Reaction Mechanism—A Critical Synopsis. *Foods*, 10(4), 699.
- Onsaard, E., Vittayanont, M., Srigan, S., & McClements, D. J. (2005). Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by coconut skim milk proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5747-5753.
- Pal, R. (1996). Effect of droplet size on the rheology of emulsions. *AIChE Journal*, 42(11), 3181-3190.
- Pathania, R., Kaushik, R., & Khan, M. A. (2018). Essential oil nanoemulsions and their antimicrobial and food applications. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(3), 626-643.
- Pegg, R. B. (2001). Spectrophotometric measurement of secondary lipid oxidation products. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1(1), D2. 4.1-D2. 4.18.
- Phattayakorn, K., & Wanchaitanawong, P. (2009). Antimicrobial activity of thai herb extracts against coconut milk spoilage microorganisms. *Agriculture and Natural Resources*, 43(4), 752-759.
- Pongtongkam, P., & Chaiseri, S. (2020). Effect of antioxidants on reduction of lipid oxidation in canned coconut milk. *Agriculture and Natural Resources*, 54(4), 423-430-423-430.
- Ponraj, S. B., Sharp, J. A., Kanwar, J. R., Sinclair, A. J., Kviz, L., Nicholas, K. R., & Dai, X. J. (2017). Argon gas plasma to decontaminate and extend shelf life of milk. *Plasma Processes and Polymers*, 14(11), 1600242.
- Popov-Raljić, J. V., Lakić, N. S., Laličić-Petronijević, J. G., Barać, M. B., & Sikimić, V. M. (2008). Color changes of UHT milk during storage. *Sensors*, 8(9), 5961-5974.
- Pouton, C. W. (2000). Lipid formulations for oral administration of drugs: non-emulsifying, self-emulsifying and 'self-microemulsifying' drug delivery systems. *European journal of pharmaceutical sciences*, 11, S93-S98.
- Qadir, A., Faiyazuddin, M., Hussain, M. T., Alshammari, T. M., & Shakeel, F. (2016). Critical steps and energetics involved in a successful development of a stable nanoemulsion. *Journal of Molecular Liquids*, 214, 7-18.
- Quemada, D., & Berli, C. (2002). Energy of interaction in colloids and its implications in rheological modeling. *Advances in colloid and interface science*, 98(1), 51-85.

- Rai, V. K., Mishra, N., Yadav, K. S., & Yadav, N. P. (2018). Nanoemulsion as pharmaceutical carrier for dermal and transdermal drug delivery: formulation development, stability issues, basic considerations and applications. *Journal of controlled release*, 270, 203-225.
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 55-65.
- Rodríguez, Ó., Gomes, W. F., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. (2017). Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). *LWT*, 84, 457-463.
- Rojas-López, A., & Ca, M. P. (2013). Antioxidant capacity in vanilla extracts obtained by applying focused microwaves.
- Ruengdech, A., & Siripatrawan, U. (2021). Application of catechin nanoencapsulation with enhanced antioxidant activity in high pressure processed catechin-fortified coconut milk. *LWT*, 140, 110594.
- S. Kokilavani, G. S., P. Venilla and R. Arun Kumar. (2017). Identification of Volatile Compound in Coconut Milk Samples Using GC-MS. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1140-1145.
- Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2014). Impact of microfluidization or ultrasound processing on the antimicrobial activity against *Escherichia coli* of lemongrass oil-loaded nanoemulsions. *Food Control*, 37, 292-297.
- Sarangapani, C., Keogh, D. R., Dunne, J., Bourke, P., & Cullen, P. (2017). Characterisation of cold plasma treated beef and dairy lipids using spectroscopic and chromatographic methods. *Food Chemistry*, 235, 324-333.
- Saremnezhad, S., Soltani, M., Faraji, A., & Hayaloglu, A. A. (2021). Chemical changes of food constituents during cold plasma processing: A review. *Food Research International*, 147, 110552.
- Schultz, S., Wagner, G., Urban, K., & Ulrich, J. (2004). High-pressure homogenization as a process for emulsion formation. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology*, 27(4), 361-368.
- Segat, A., Misra, N., Cullen, P., & Innocente, N. (2016). Effect of atmospheric pressure cold plasma (ACP) on activity and structure of alkaline phosphatase. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 181-188.
- Seneviratne, K. N., Hapuarachchi, C. D., & Ekanayake, S. (2009). Comparison of the phenolic-dependent antioxidant properties of coconut oil extracted under cold and hot conditions. *Food Chemistry*, 114(4), 1444-1449.

- Seow, C. C., & Gwee, C. N. (1997). Coconut milk: chemistry and technology. *International journal of food science & technology*, 32(3), 189-201.
- Shabbir, M. A., Ahmed, H., Maan, A. A., Rehman, A., Afraz, M. T., Iqbal, M. W., Khan, I. M., Amir, R. M., Ashraf, W., & Khan, M. R. (2020). Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. *Food Science and Technology*, 41, 279-294.
- Shah, R., Eldridge, D., Palombo, E., & Harding, I. (2014). Optimisation and stability assessment of solid lipid nanoparticles using particle size and zeta potential. *Journal of Physical Science*, 25(1).
- Shyamala, B., Naidu, M. M., Sulochanamma, G., & Srinivas, P. (2007). Studies on the antioxidant activities of natural vanilla extract and its constituent compounds through in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7738-7743.
- Silva, H. D., Cerqueira, M. Â., & Vicente, A. A. (2012). Nanoemulsions for food applications: development and characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 854-867.
- Simuang, J., Chiewchan, N., & Tansakul, A. (2004). Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 193-197.
- Sinha, M., Weyda, I., Sørensen, A., Bruno, K. S., & Ahring, B. K. (2017). Alkane biosynthesis by *Aspergillus carbonarius* ITEM 5010 through heterologous expression of *Synechococcus elongatus* acyl-ACP/CoA reductase and aldehyde deformylating oxygenase genes. *Amb Express*, 7(1), 1-9.
- Sivakanthan, S., Bopitiya, D., & Madhujith, T. (2018). A comparative study on stability of different types of coconut (*Cocos nucifera*) oil against autoxidation and photo-oxidation. *African Journal of Food Science*, 12(9), 216-229.
- Solans, C., & Solé, I. (2012). Nano-emulsions: formation by low-energy methods. *Current opinion in colloid & interface science*, 17(5), 246-254.
- Solè, I., Pey, C. M., Maestro, A., González, C., Porras, M., Solans, C., & Gutiérrez, J. M. (2010). Nano-emulsions prepared by the phase inversion composition method: Preparation variables and scale up. *Journal of colloid and interface science*, 344(2), 417-423.
- Solè, I., Solans, C., Maestro, A., González, C., & Gutiérrez, J. (2012). Study of nano-emulsion formation by dilution of microemulsions. *Journal of colloid and interface science*, 376(1), 133-139.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., & Solans, C. (2004). Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in colloid and interface science*, 108, 303-318.
- Tai, A., Sawano, T., Yazama, F., & Ito, H. (2011). Evaluation of antioxidant activity of vanillin by using multiple antioxidant assays. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1810(2), 170-177.

- Tangsuphoom, N., & Coupland, J. N. (2005). Effect of heating and homogenization on the stability of coconut milk emulsions. *Journal of food science*, 70(8), e466-e470.
- Tarek, M., Kamal, M., Mondal, S., Rahman, S., Abdullah, M., & Awal, M. (2020). Changes in physicochemical properties of pasteurized coconut (*Cocos nucifera*) milk during storage at refrigeration condition. *Thai Journal of Agricultural Science*, 53(3), 149– 164-149– 164.
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2-30.
- The Good Scents Company. (2016). The Good Scents Company Information System [online]. Available: <http://www.thegoodscentscompany.com/data/rw1013411.html>.
- Tian, W., Lin, Q., & Liu, G.-Q. (2012). In vitro antioxidant capacities of rice residue hydrolysates from fermented broth of five mold strains. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12), 2396-2401.
- Tiwari, S. B., & Amiji, M. M. (2006). Improved oral delivery of paclitaxel following administration in nanoemulsion formulations. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 6(9-10), 3215-3221.
- Uddin, D., Nusrat, A., Parv, I., Roni, M., Mayda, U., & Parvin, S. (2003). 25. Antibacterial and antifungal activities of *Vanilla planifolia* grown in Sher-E-Bangla Agricultural University. *Bangladesh Res Publ J*, 11, 34-39.
- Utama, N., Setiawan, C., & Fajri, I. (2020). Effect of alginate based edible coating enriched with vanilla essential oil on shelf-life of fresh-cut red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Venugopala, K. N., Rashmi, V., & Odhav, B. (2013). Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed research international*, 2013.
- Waisundara, V. Y., Perera, C. O., & Barlow, P. J. (2007). Effect of different pre-treatments of fresh coconut kernels on some of the quality attributes of the coconut milk extracted. *Food Chemistry*, 101(2), 771-777.
- Wang, W., Chen, H., Ke, D., Chen, W., Zhong, Q., Chen, W., & Yun, Y.-H. (2020). Effect of sterilization and storage on volatile compounds, sensory properties and physicochemical properties of coconut milk. *Microchemical Journal*, 153, 104532.
- Whitesides, G. M. (2006). The origins and the future of microfluidics. *nature*, 442(7101), 368-373.
- Wilde, P. J. (2019). Improving Emulsion Stability Through Selection of Emulsifiers and Stabilizers.
- Wilde, P. J. (2019.). Improving emulsion stability through selection of emulsifiers and stabilizers. *Reference Module in Food Science*. , 1-8.
- Wu, W., Liu, F., & Singh, S. (2018). Toward engineering *E. coli* with an autoregulatory system for lignin valorization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(12), 2970-2975.

- Wu, X., Luo, Y., Zhao, F., & Mu, G. (2021). Influence of dielectric barrier discharge cold plasma on physicochemical property of milk for sterilization. *Plasma Processes and Polymers*, 18(1), 1900219.
- Zorzi, G. K., Caregnato, F., Moreira, J. C. F., Teixeira, H. F., & Carvalho, E. L. S. (2016). Antioxidant effect of nanoemulsions containing extract of *Achyrocline satureioides* (Lam) DC—Asteraceae. *AAPS PharmSciTech*, 17(4), 844-850.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	chanikarn choosit
วัน เดือน ปี เกิด	28 November 1997
สถานที่เกิด	Phatumthani
วุฒิการศึกษา	chulalongkorn university
ที่อยู่ปัจจุบัน	55/61 ซอย 9 หมู่บ้านทรัพย์หมื่นแสน 1 ถนน ปทุม-ลาดหลุมแก้ว ตำบล บ้านฉาง อ. เมือง จ.ปทุมธานี 12000
ผลงานตีพิมพ์	the 60th Kasetsart University Annual Conference
รางวัลที่ได้รับ	-

